

TÂNIA THIBES RODRIGUES

**OS EFEITOS DO SOLO CONTAMINADO COM PETRÓLEO
NA ESTRUTURA ANATÔMICA E ESTADO NUTRICIONAL
DO LENHO JOVEM DE *Campomanesia xanthocarpa*
Berg (MYRTACEAE) E *Sebastiania commersoniana* (Baillon)
Smith & Downs (EUPHORBIACEAE).**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal, Setor de Ciências
Agrárias, Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial à obtenção do grau de
Doutor em Ciências Florestais.

Orientadora: Prof.^ª Dr.^ª Celina Wisniewski

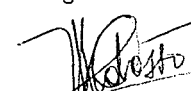
Co-orientadores: Prof.^ª Dr.^ª Cleusa Bona
Dr. Renato Dedeczek

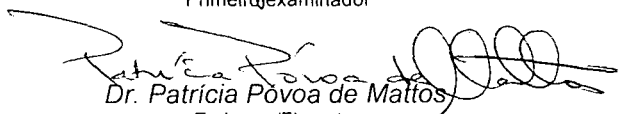
CURITIBA
2005

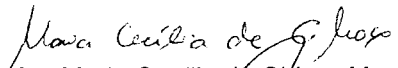
PARECER

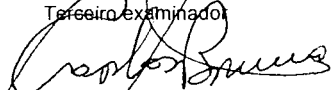
Defesa nº. 597

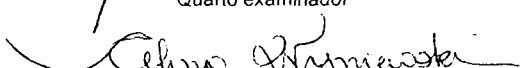
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Tânia Thibes Rodrigues* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**Os efeitos do solo contaminado com petróleo na estrutura anatômica e estado nutricional do lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa* Berg e *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs**", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor em Engenharia Florestal*, área de concentração em CONSERVAÇÃO DA NATUREZA.


Dr. Paulo Cesar Botosso
Embrapa/Florestas
Primeiro examinador



Dr. Patrícia Póvoa de Mattos
Embrapa/Florestas
Segundo examinador


Dr. Maria Cecília de Chiara Moço
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Carlos Bruno Reissmann
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Celina Wisniewski
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora




Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-Coodenador do Curso

Curitiba, 04 de abril de 2005

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao divino Mestre, por mais este degrau de aprendizagem e autoconhecimento;

À Mãe Terra, por permitir momentos de íntima relação, com essas plantas e minerais;

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de realizar este grande sonho, em mais esta etapa de minha vida;

À CAPES, pela bolsa de estudos fornecida;

À Professora Dr^a Cleusa Bona e ao Professor MSc. Gedir de Oliveira Santos, pela oportunidade concebida dentro do projeto maior, pelo apoio irrestrito, pelo material disponibilizado, pelas horas dedicadas e pela amizade;

À Professora Dr^a Celina Wisniewski e ao Pesquisador Dr^o Renato Dedecek (EMBRAPA Florestas), pelo companheirismo, orientação, apoio incondicional, e pelo carinho;

Ao professor Dr^o Luís Gonzaga Callefe por todo o auxílio estatístico, pelos conselhos e pela amizade;

Ao Biólogo Nilson Belém Filho, meu grande amigo de todos os tempos;

Ao secretário da Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Reinaldo Pinheiro, pelo carinho e apoio nos momentos que mais precisei;

À bibliotecária Tânia de Barros Bággio, Centro de Ciências Florestais e da Madeira da UFPR;

A Juliana Mayer, Liege da Silva Oliveira, Leila Teresinha Maranhão, pela ajuda, e amizade;

Finalmente, aos meus queridos, Monan, Cauê, Julio, Therezinha e Erly, por me permitirem exercitar o verdadeiro amor e ser tão feliz;

A relação

Eu considero uma árvore.

Posso apreendê-la como uma imagem. Coluna rígida sob o impacto da luz, ou o verdor resplandecente repleto de suavidade pelo azul prateado que lhe serve de fundo.

Posso senti-la como movimento: filamento fluente de vasos unidos a um núcleo palpitante, sucção de raízes, respiração das folhas, permuta incessante de terra e ar, e mesmo o próprio desenvolvimento obscuro.

Eu posso classificá-la numa espécie e observá-la como exemplar de um tipo de estrutura e de vida.

Eu posso dominar tão radicalmente sua presença e sua forma que não reconheço mais nela senão a expressão de uma lei_ de leis segundo as quais um contínuo conflito de forças é sempre solucionado ou de leis que regem a composição e a decomposição das substâncias.

Eu posso volatilizá-la e eternizá-la, tornando-a um número, uma mera relação numérica.

A árvore permanece, em todas estas perspectivas, o meu objeto tem seu espaço e seu tempo, mantém sua natureza e sua composição.

Entretanto pode acontecer que simultaneamente, por vontade própria e por uma graça, ao observar a árvore, eu seja levado a entrar em relação com ela; ela já não é mais um ISSO. A força de sua exclusividade apoderou-se de mim.

Não devo renunciar a nenhum dos modos de minha consideração. De nada devo abstrair-me para vê-la, não há nenhum conhecimento do qual devo me esquecer. Ao contrário, imagem e movimento, espécie e exemplar, lei e número estão indissoluvelmente unidos nessa relação.

Tudo o que pertence à árvore, sua forma, seu mecanismo, sua cor e suas substâncias químicas, sua "conversação" com os elementos do mundo e com as estrelas, tudo está incluído numa totalidade.

A árvore não é uma impressão, um jogo de minha representação ou um valor emotivo. Ela se apresenta "em pessoa" diante de mim e tem algo a ver comigo e, eu, se bem que de modo diferente, tenho algo a ver com ela.

Que ninguém tente debilitar o sentido da relação: relação é reciprocidade.

Teria então a árvore uma consciência semelhante à nossa? Não posso experienciar isso. Mas quereis novamente decompor o indecomponível só porque a experiência parece ter sido bem sucedida convosco? Não é a alma da árvore ou sua dríade que se apresenta a mim, é ela mesma.

Martin Buber.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTAS DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	001
OBJETIVO GERAL.....	002
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	003
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	004
2.1 POLUIÇÃO AMBIENTAL.....	004
2.1.1 Poluição do Solo.....	009
2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PETRÓLEO.....	015
2.2.1 Recuperação do solo poluído por petróleo e o efeito nas plantas.....	017
2.3 ESSENCIALIDADE DOS ELEMENTOS INORGÂNICOS.....	023
2.3.1 Macros e micronutrientes	025
2.4 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	027
2.4.1 <i>Campomanesia xanthocarpa</i> Berg.....	027
2.4.2 Dados da anatomia de madeira da família Myrtaceae.....	028
2.4.3 <i>Sebastiania commersoniana</i> (Baillon) Smith & Downs	030
2.4.4 Dados da anatomia de madeira da família Euphorbiaceae.....	032
2.5 ANATOMIA ECOLÓGICA DE MADEIRA.....	033
2.5.1 Elementos de vasos.....	035
2.5.2 As fibras.....	037
2.5.3 O estresse.....	039
2.5.3.1 A presença das máculas.....	039
2.5.3.2 As Máculas contendo grânulos de amido.....	042
2.5.4 Os cristais.....	043
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	045

3.1 MONTAGEM DO EXPERIMENTO EM CAMPO.....	047
3.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO EM ESTUFA.....	052
3.3 PREPARAÇÃO DO MATERIAL BOTÂNICO.....	054
3.3.1 Preparação das amostras para análise anatômica.....	054
3.3.1.1 Variáveis anatômicas analisadas.....	056
3.3.2 Preparação das amostras para análise nutricional.....	057
3.3.3 Análise química em microscopia eletrônica.....	058
3.3.4 Análise qualitativa microquímica da estrutura do lenho de <i>C. xanthocarpa</i> e <i>S. commersoniana</i>	059
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	059
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	061
4.1 DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA.....	061
4.1.1 Descrição qualitativa do lenho jovem de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> com um ano e três meses de idade.....	061
4.1.2 Descrição qualitativa do lenho jovem de <i>Sebastiania commersoniana</i> com um ano e três meses de idade.....	069
4.1.3 Análise qualitativa microquímica da estrutura do lenho de <i>C. xanthocarpa</i> e <i>S. commersoniana</i>	075
4.1.3.1 Amido.....	075
4.1.3.2 Compostos fenólicos.....	076
4.1.3.3 Lignina.....	076
4.1.3.4 Substâncias lipídicas.....	076
4.1.4 Características quantitativas do lenho jovem de <i>Campomanesia</i> <i>xanthocarpa</i> (campo).....	082
4.1.5 Análise quantitativa do lenho jovem de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (estufa).....	085
4.1.6 Análise quantitativa do lenho Jovem de <i>Sebastiania commersoniana</i> (campo).....	088

4.1.7 Análise quantitativa do lenho jovem de <i>Sebastiania commersoniana</i> (estufa).....	092
4.1.7.1 Resumo -resultados significativos de <i>C. xanthocarpa</i> para ($p<0,05$).....	095
4.1.7.2 Resumo -resultados significativos de <i>Sebastiania commersoniana</i> para ($p<0,05$).....	096
4.1.8 Resultados e discussão da análise anatômica.....	096
4.2 RESULTADO E DISCUSSÃO DA ANÁLISE QUÍMICA DE MACRO E MICRONUTRIENTES.....	103
4.2.1 Análise de macro e micronutrientes de folhas de <i>C. xanthocarpa</i> no experimento do campo.....	105
4.2.2 Análise de macro e micronutrientes do caule de <i>C. xanthocarpa</i> do experimento do campo	106
4.2.3 Análise de macro e micronutrientes de folhas de <i>C. xanthocarpa</i> no experimento de estufa.....	108
4.2.4 Análise de macro e micronutrientes do caule de <i>C. xanthocarpa</i> do experimento de estufa.....	109
4.2.5 Análise de macro e micronutrientes das folhas de <i>S. commersoniana</i> do experimento de campo.....	111
4.2.6 Análise de macro e micronutrientes do caule de <i>S. commersoniana</i> do experimento do campo.....	114
4.2.7 Análise de macro e micronutrientes das folhas de <i>S. commersoniana</i> do experimento da estufa.....	116
4.2.8 Análise de macro e micronutrientes do caule de <i>S. commersoniana</i> do experimento da estufa.....	118
5 CONCLUSÕES	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXOS	135

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Fotografia aérea da REPAR.....	046
FIGURA 2- Fotografia da estufa, UFPR.....	046
FIGURA 3- Fotografias do local do experimento do campo (REPAR).....	048
FIGURA 4- Fotografia com mudas de <i>C. xanthocarpa</i> (campo e estufa).....	050
FIGURA 5- Fotografias com mudas de <i>S. commersoniana</i> (campo e estufa).....	051
FIGURA 6- Lenho jovem de <i>C. xanthocarpa</i>	066
FIGURA 7- Lenho jovem de <i>C. xanthocarpa</i>	067
FIGURA 8- Microscopia eletrônica de <i>C. xanthocarpa</i>	068
FIGURA 9- Lenho jovem de <i>S. commersoniana</i>	072
FIGURA 10- Lenho jovem de <i>S. commersoniana</i>	073
FIGURA 11- Microscopia eletrônica de <i>S. commersoniana</i>	074
FIGURA 12- Lenho jovem de <i>C. xanthocarpa</i> (amido).....	078
FIGURA 13- Lenho jovem de <i>S. commersoniana</i> (amido).....	079
FIGURA 14- Lenho jovem de <i>S. commersoniana</i> (compostos fenólicos).....	080
FIGURA 15- Lenho jovem de <i>S. commersoniana</i> (lignina).....	081

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Quantidades prováveis de alguns elementos inorgânicos anualmente utilizados, com seus empregos principais e fontes de contaminação do solo...	011
TABELA 2- Características químicas de várias fontes de petróleo.....	016
TABELA 3- Determinação do teor de metais.....	017
TABELA 4- Análise por Espectrofotometria de Absorção atômica com atomização em chama, para determinação do teor de metais.....	017
TABELA 5- Resumo das tecnologias de recuperação de áreas contaminadas por petróleo.....	018
TABELA 6- Análise química do solo (campo).....	049
TABELA 7- Análise química do solo antes da adubação.....	052
TABELA 8- Análise química do solo após a adubação.....	052
TABELA 9- Resultados (Bona e Santos, 2003; Mayer, 2004) campo.....	053
TABELA 10- Resultados (Bona e Santos, 2003; Mayer, 2004) estufa.....	054
TABELA 11- Diâmetro de elementos de vasos <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	082
TABELA 12- Diâmetro de fibras <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	083
TABELA 13- Comprimento de elementos de vasos <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	083
TABELA 14- Comprimento dos apêndices <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	083
TABELA 15- Número de vasos <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	083
TABELA 16- Comprimento de fibras <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	084
TABELA 17- Espessura de parede de fibras <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	084
TABELA 18- Matriz de reclassificação das plantas a partir do modelo de análise discriminante.....	084
TABELA 19- Comprimento dos apêndices <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	085
TABELA 20- Diâmetro de elementos de vasos <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	085
TABELA 21- Número de vasos <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	086

TABELA 22- Comprimento de fibras <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	086
TABELA 23- Diâmetro de fibras <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	087
TABELA 24- Espessura de parede de fibras <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	087
TABELA 25- Comprimento de elementos de vasos <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	087
TABELA 26- Matriz de reclassificação das plantas a partir do modelo de análise discriminante.....	088
TABELA 27- Comprimento de elementos de vasos <i>S. commersoniana</i> (campo)...	089
TABELA 28- Número de vasos <i>S. commersoniana</i> (campo).....	089
TABELA 29- Comprimento de fibras <i>S. commersoniana</i> (campo).....	089
TABELA 30- Diâmetro de fibras <i>S. commersoniana</i> (campo).....	090
TABELA 31- Espessura de parede de fibras <i>S. commersoniana</i> (campo).....	090
TABELA 32- Comprimento dos apêndices <i>S. commersoniana</i> (campo).....	091
TABELA 33- Diâmetro de elementos de vasos <i>S. commersoniana</i> (campo).....	091
TABELA 34- Matriz de reclassificação das plantas a partir do modelo de análise discriminante.....	091
TABELA 35- Diâmetro de elementos de vasos <i>S. commersoniana</i> (estufa).....	092
TABELA 36- Número de vasos <i>S. commersoniana</i> (estufa).....	092
TABELA 37- Comprimento de fibras <i>S. commersoniana</i> (estufa).....	093
TABELA 38- Espessura de parede de fibras <i>S. commersoniana</i> (estufa).....	093
TABELA 39- Comprimento de elementos de vasos <i>S. commersoniana</i> (estufa)....	094
TABELA 40- Comprimento dos apêndices <i>S. commersoniana</i> (estufa).....	094
TABELA 41- Diâmetro de fibras <i>S. commersoniana</i> (estufa).....	094
TABELA 42- Matriz de reclassificação das plantas a partir do modelo de análise discriminante.....	095
TABELA 43- Resumo dos resultados das análises anatômicas do lenho jovem de <i>C. xanthocarpa</i>	097
TABELA 44- Resumo dos resultados das análises anatômicas do lenho jovem de <i>S. commersoniana</i>	097

TABELA 45-A Análise química do solo (campo).....	103
TABELA 45-B Análise química do solo após a adubação.....	103
TABELA 46- Análise química das folhas de <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	105
TABELA 47- Análise química do caule de <i>C. xanthocarpa</i> (campo).....	106
TABELA 48- Análise química das folhas de <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	108
TABELA 49- Análise química do caule de <i>C. xanthocarpa</i> (estufa).....	109
TABELA 50- Análise química das folhas de <i>S. commersoniana</i> (campo).....	111
TABELA 51- Análise química do caule de <i>S. commersoniana</i> (campo).....	114
TABELA 52- Análise química das folhas de <i>S. commersoniana</i> (estufa).....	116
TABELA 53- Análise química do caule de <i>S. commersoniana</i> (estufa).....	118

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido na área da REPAR, Refinaria Presidente Getúlio Vargas, Município de Araucária – PR, (local onde ocorreu o vazamento de petróleo em julho de 2000). O objetivo foi avaliar os efeitos do solo contaminado com petróleo na estrutura anatômica e estado nutricional do lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa* Berg (MYRTACEAE) e *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (EUPHORBIACEAE). Foram montados dois experimentos, um em campo, constituído de três áreas: contaminada, não contaminada e a área contaminada biorremediada; e outro em estufa com quatro tratamentos: solo contaminado, não contaminado, solo contaminado adubado e não contaminado adubado. As mudas foram plantadas, com cerca de 5 meses de idade, as quais permaneceram crescendo no experimento por cerca de um ano. As análises anatômicas do lenho foram feitas na base do caule, através de lâminas permanentes e semipermanentes. O lenho foi descrito e analisado com testes de detecção de amido, compostos fenólicos, lignina e substâncias lipídicas. Foram medidos o comprimento dos vasos, apêndices e fibras; o diâmetro dos vasos e fibras, a espessura da parede das fibras e o número de vasos por milímetro quadrado. O estado nutricional das plantas foi avaliado através dos teores dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg; e dos micronutrientes: Fe, Mn, Zn e Al. Foram registradas alterações morfológicas significativas ($p < 0,05$) na estrutura anatômica do lenho de ambas as espécies analisadas. Nas áreas contaminadas as plantas tenderam a ter maiores diâmetros de vasos, e menor número de vasos por milímetro quadrado. As folhas e caules das plantas do solo contaminado e não contaminado apresentaram variações nos teores de macro e micronutrientes. As plantas de áreas contaminadas, tenderam a apresentar maiores teores de Mn e Fe, ao contrário do P que apresentou menores valores em quase todos os tratamentos sem a presença da adubação.

Palavras-chave: Poluição por petróleo, *Campomanesia xanthocarpa*, *Sebastiania commersoniana*, estado nutricional, anatomia do lenho.

ABSTRACT

This study is part of a major project in the area of the REPAR, Presidente Getúlio Vargas Refinery, City of Araucária - PR, (local where an oil spilling incident occurred in June, 2000). The objective was to evaluate the effect of the oil contaminated soil in the anatomical structure of the wood and nutritional status of *Campomanesia xanthocarpa* Berg (MYRTACEAE) and *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (EUPHORBIACEAE) seedlings, native species of the region. Two experiments were designed, one field experiment in the affected area consisting of three treatments: contaminated, not contaminated and the bioremediated contaminated area and a greenhouse experiment with four treatments: 1) contaminated soil, 2) contaminated soil + fertilizer; 3) not contaminated soil and 4), not contaminated soil + fertilizer. Five months old seedlings of both species were planted, and were grown about a year. Qualitative analysis of the wood consisted of micro-chemical reactions with specific reagents for starch visualization, phenolic compounds, lignin and lipidic substances. For the quantitative analysis vases, appendices, and staple fibers length, vases and staple fibers diameter, staple fibers wall thickness and number of vases per squared millimeter were measured. Seedlings nutritional status was based on macronutrients (N, P, K, Ca, Mg); and micronutrients (Fe, Mn, Zn) and Al content of the leaves and wood. The results showed significant morphological alterations ($p < 0,05$) in the anatomical structure of the wood of both species under the effect of oil contaminated soil. In the contaminated areas plants were more likely to have vases with larger diameters and fewer vases per square millimeter. Both leaves and stem showed variations in macro and micronutrients contents when comparing contaminated versus not contaminated soil. Plants of contaminated areas were likely to present higher contents of Mn and Fe, in contrast to lower P rates in almost all treatments without the fertilization.

Key words: Petroleum pollution, *Campomanesia xanthocarpa*, *Sebastiania commersoniana*, nutritional status, wood anatomy.

1 INTRODUÇÃO

Acidentes ecológicos envolvendo o petróleo e seus derivados foram alvos de manchetes nos meios de comunicação, repetidas vezes nas últimas décadas, em noticiários brasileiros e internacionais. Frequentemente são desencadeados por vazamentos e, ou, explosões em cargueiros, navios tanque, oleodutos, dutos e caminhões; vias essas, suscetíveis devido à condução e transporte de grandes quantidades do produto.

Muitas evidências nos levam a crer que o impacto ocasionado, logo após o incidente do vazamento, pelo derramamento de petróleo no ambiente, seja ele marítimo ou continental, é evidenciado qualitativamente pela morte de inúmeros representantes da fauna e flora local. Constatando-se nesses casos, como conseqüências das atividades humanas, a “poluição”.

Devido à amplitude do significado, essa poluição gera tanto estresses induzidos, abruptos, agudos de difícil mensuração, quanto efeito de estresses crônicos, também complexos em sua avaliação, podendo passar muitos anos para que as respostas na natureza apareçam ou sejam detectadas.

A constante indagação da comunidade científica, sobre os tipos de fenômenos que ocorrem dentro de um ser vivo quando exposto a injúrias dessa natureza, nos motivou na tentativa da quantificação dos efeitos causados, caso existente, no que diz respeito a alterações morfo-anatômicas e nutricionais de espécies arbóreas nativas, encontradas em regiões sujeitas à contaminação por petróleo.

O resultado de diversas pesquisas utilizando-se de técnicas que possuem a capacidade de extrair, reter e transformar compostos orgânicos e inorgânicos do ar e do solo, vem corroborar amenizando impactos negativos ao ambiente. A exemplo da biorremediação, processo em que certas bactérias, fungos, algas e plantas possuem a capacidade de concentrar contaminantes através dos mecanismos de assimilação.

O processo de descontaminação de solos através da utilização de plantas, principalmente quando os mesmos envolvem plantas nativas, vem sendo bastante pesquisado e incentivado nas últimas décadas, além do que, a fitorremediação por ser um tratamento biológico *in situ*, tornando-se viável economicamente, comparado a outros processos de extração de contaminantes.

Desenvolveu-se então, um amplo projeto idealizado por um grupo de pesquisadores do Departamento de Botânica (BONA e SANTOS, 2003) da UFPR, devido ao acidente ambiental ocorrido na Refinaria Presidente Getúlio Vargas – REPAR, no município de Araucária-PR, ocasionado pelo rompimento de uma junta de expansão de uma tubulação, através da qual foram despejados quatro milhões de litros de óleo no meio ambiente.

Esse projeto abrangeu dois tipos de experimentos, um desenvolvido em campo (local afetado) e outro em estufa no Departamento de Botânica da UFPR, e objetivou avaliar o impacto causado pelo solo contaminado com petróleo, no crescimento e desenvolvimento de espécies nativas existentes naquela área, *Campomanesia xanthocarpa* Berg. (Guabiroba), *Sebastiania commersoniana* Smith & Downs Baillon (Branquilha), *Schinus terebintifolius* Raddi (Aroeira), *Allophylus edulis* (Vacum), *Eugenia uniflora* L. (Pitanga), *Mimosa scabrella* (Bracatinga) e *Podocarpus lambertii* Klotzsch (Pinheiro-bravo).

O presente trabalho, como parte do projeto maior, teve como objetivo analisar o efeito do solo contaminado com petróleo na estrutura e nas características nutricionais do lenho e das folhas de *Campomanesia xanthocarpa* e *Sebastiania commersoniana*, cultivadas em experimento de campo e estufa.

Objetivos específicos

- 1) Avaliar a estrutura do lenho de *Campomanesia xanthocarpa* e *Sebastiania commersoniana*, através das seguintes variáveis anatômicas: comprimento de vaso (CV), Apêndices (presença, ausência, comprimento), diâmetro dos vasos (DV), número de vasos.mm⁻² (NV), comprimento das fibras (CF), diâmetro das fibras (DF), espessura da parede das fibras (EPF);
- 2) Avaliar qualitativamente o efeito da poluição no lenho de ambas as espécies, através de testes microquímicos para detecção de amido, compostos fenólicos, lignina e substâncias lipídicas;
- 3) Avaliar o efeito da poluição por petróleo, quanto aos teores de macro, micronutrientes e Alumínio, nas espécies estudadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 POLUIÇÃO AMBIENTAL

A definição de poluição, como sendo a adição de substâncias que alterem a composição física ou química de determinado ambiente temporariamente ou permanentemente, vem acompanhada do questionamento, essa adição acontece naturalmente ou é introduzida culturalmente? A concentração dessas substâncias pode causar efeitos visíveis no ecossistema ou a concentração pode estar abaixo do limite aceitável caracterizando-se apenas como contaminação, em vez de poluição (MELLANBY, 1982; FREEDMAN, 1993; TIVY, 1995; CLARK, 1997)? Na tentativa da elucidação deste questionamento, deve-se considerar a distinção entre os tipos de poluição que são gerados naturalmente, daqueles que têm como origem às atividades humanas.

Erupções vulcânicas liberando grandes quantidades de enxofre, transporte e a deposição de matéria orgânica e inorgânica de uma região da biosfera para outra, concentração de mercúrio existente no mar, entre outros, são todos processos naturais. Ao passo que, processos antropogênicos constantemente envolvem grandes quantidades de substâncias naturais como esgoto doméstico, lixo, efluentes não tratados de fábricas, gases poluentes em geral, transporte e manuseio de petróleo e seus derivados e outras substâncias sinteticamente elaboradas como os policloro-bifenis (utilizados na indústria eletroquímica e na fábrica de matérias plásticas), praguicidas, herbicidas, fungicidas, inseticidas, compostos organoclorados, detergentes, reagentes. Sendo que, esses processos poluidores têm crescido de maneira extraordinária nas últimas décadas (MELLANBY, 1982).

A poluição de ocorrência natural é aquela, cujos efeitos não tem a mesma repercussão na imprensa, na mídia, ou nas pesquisas científicas, comparativamente aos impactos decorrentes de atividades humanas, que geram poluição de forma

abrupta e dramática (MELLANBY, 1982; ODUM, 1988; TIVY, 1995; CLARK, 1997; LARCHER, 2000).

Em todos esses casos o caráter potencial da toxicidade está presente, com maior ou menor grau de intensidade, portanto a nocividade para os seres vivos circundantes é dependente da sensibilidade de cada um, das características genéticas, fisiológicas e das circunstâncias em que foram afetados.

Quando um ser vivo é submetido a uma força, tensão que o afaste das condições consideradas ótimas para sua sobrevivência, esta acaba induzindo respostas e/ou transformações em sua fisiologia interna, muitas vezes reversíveis a princípio, mesmo que durante a permanência do fator estressante desencadeador, ocorra à diminuição de sua resistência. Quando o limite de capacidade de ajuste é alcançado, os distúrbios que antes estavam em estado latente, agora se manifestam na forma de doenças crônicas ou injúrias irreversíveis.

Conceitos advindos das ciências físicas podem em certos casos vir a elucidar fenômenos biológicos, como no caso de Jacob Levitt (1972,1980) apud por (SALISBURY & ROSS, 1992; LARCHER, 2000) que definiu tensão biológica elástica para os casos de mudanças funcionais em um organismo que retornam para o nível ótimo quando as condições forem novamente ótimas (isto é, quando o estresse biológico tenha sido afastado); entretanto, se as funções não retornam ao normal, é dito que o organismo exibe uma tensão biológica plástica.

Diversos trabalhos de pesquisa vêm sendo executados para averiguação dos efeitos do estresse antropogênico na fitosfera, isto é, os poluentes derivados das atividades humanas e suas conseqüências para as plantas, grande parte desses trabalhos trata dos efeitos da poluição do ar, solo e da água como em KELLER (1983); WENTZEL (1983); BAUCH (1986); LARCHER (2000); ALVES (2001); BUJOKAS (2001); CECY (2001); BÜNDCHEN (2001), envolvendo geralmente as análises morfológicas, anatômicas e fisiológicas. Outros trabalhos tratam dos efeitos da poluição na madeira como em BAUCH (1986); FRÜHWALD (1986); EVERTSEN; MAC SIURTAIR; GARDINER (1986); VISSER *et al.* (1989), como também àqueles

que tratam dos efeitos da poluição por petróleo em plantas como BAKER (1970); CLARK MACLEOD (1977); DELAUNE; PATRICK JR; BURESH (1979); SMITH; DELAUNE; PATRICK JR (1981); FREEDMAN (1993); CLARK (1997); MALALLAH *et al.* (1998); KUHN *et al.* (1998); SOUZA (1999); PEZESHKI *et al.* (2000); BONA & SANTOS (2003); MAYER (2004); OLIVEIRA (2004); MARANHO (2004); CHUPAKHINA & MASLENNIKOV (2004).

As plantas são consideradas mais sensíveis aos poluentes em geral, do que o próprio homem, e têm sido utilizadas como bioindicadoras ou “plantas acumuladoras” pois podem filtrar e acumular substâncias que, resultem em sintomas de injúrias em alguns de seus órgãos. Além de denunciar a presença de compostos acumulados, as plantas indicadoras mostram uma reação biológica em escala visível; distinguindo-se da bioindicação, que neste caso, refere-se ao efeito tóxico em escala invisível somente mostrado pelo comportamento fisiológico, bioquímico ou ecológico das plantas (KELLER, 1983).

Para WENTZEL (1983) o acúmulo de poluentes nas folhas não pode ser considerado como um critério de injúrias, mas somente um indício de efeitos injuriosos, quando esse processo passar a ser repetitivo. O autor menciona que desde 1898 o pesquisador Wislicenus considerou SO₂ e HF como “assimilação de venenos”, pois eles diminuem o processo metabólico e as atividades enzimáticas aumentando a transpiração por paralisar o mecanismo estomático. Uma vez intensificados esses sintomas reduzem a vitalidade das árvores e a resistência para outros fatores prejudiciais, levando ao envelhecimento e até à morte.

Certos líquens como no caso de *Hypogymnia physodes* chegam a ter sua clorofila destruída, devido à poluição dos gases, principalmente por SO₂ (LARCHER, 2000).

Experimento efetuado por KELLER (1983), envolvendo três clones puros e distintos de *Picea excelsa*, foram submetidos durante oito semanas à poluição com 0,05 ppm de SO₂ sob condições idênticas, utilizando como bioindicador sensível uma coluna ascendente de CO₂. O primeiro clone não mostrou redução de CO₂

estatisticamente significativa e nem sintomas visíveis de injúrias com oito semanas. Outro clone, entretanto, reagiu somente após duas semanas com redução significativa da coluna ascendente de CO₂ e após oito semanas apresentou sintomas visíveis de injúrias. O terceiro clone teve uma reação intermediária. Os resultados mostraram que nem todas as árvores em uma floresta reagirão semelhantemente à poluição do ar, nem mesmo quando pertencem à mesma espécie, comprovando que a constituição genética é fator de respostas internas individuais para reações diferenciadas diante da poluição do ar.

ALVES, em 2001 analisou os efeitos dos poluentes de fábrica de cimento em mudas de *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) e *Zinnia elegans* Cav. (Asteraceae), consideradas plantas bioindicadoras, chegando aos seguintes resultados: para *Z. elegans* o crescimento, o tamanho da área foliar e os teores de clorofila foram maiores na estação controle, local distante da exposição aos poluentes, e conseqüentemente menores nas mudas colocadas dentro da fábrica de cimento; no caso de *N. tabacum* plantadas na área controle, seus indivíduos apresentaram ao final do experimento uma média de crescimento correspondente à cerca de 10 vezes a média encontrada nas demais estações sujeitas à influência da poluição da fábrica, pelo mesmo período de tempo. Quanto ao tamanho da área foliar e aos teores de clorofila em *N. tabacum* os resultados comprovaram ser estatisticamente significativos para o menor crescimento das mudas em contato com a poeira de cimento, comparados à estação controle.

Empregando-se o biomonitoramento passivo e ativo, respectivamente, em indivíduos adultos e jovens, com o objetivo de investigar o impacto da poeira de cimento depositada na superfície foliar de *Schinus terebinthifolius* Raddi (BUJOKAS, 2001), levou em consideração parâmetros morfológicos, anatômicos e fisiológicos, observando nos agentes passivos da área da fábrica de cimento: maiores quantidades dos elementos Ca, Si, Al, Mg, Fe e S depositados na superfície foliar; maiores pesos fresco e seco das folhas; tendência dos indivíduos em aumentar a área foliar e em reduzir a densidade estomática; obstrução dos estômatos pela

deposição de partículas de poeira; injúrias nos tricomas glandulares e redução da concentração de clorofila total, quando comparada, à concentração de clorofila dos indivíduos da área controle. As análises dos agentes ativos diferiram dos resultados descritos anteriormente quanto ao menor crescimento em comprimento; e o aumento da espessura da epiderme nas superfícies adaxial e abaxial, assim como aumento da concentração de clorofila total, quando comparados, aos agentes ativos do controle.

A análise anatômica feita em estratos do mesofilo de folhas de *Podocarpus lambertii* submetidas à poluição aérea por chuva ácida apresentaram uma tendência em aumentar o parênquima paliçádico e lacunoso dos indivíduos localizados na área poluída, comparados à área controle (CECY, 2001); sugerindo-se que o aumento da espessura do parênquima paliçádico apresentado possa implicar no aumento da eficiência fotossintética.

Buscando respostas de possíveis transformações morfo-anatômicas e fisiológicas em folhas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, família Araucariaceae sujeitas à poluição urbana BÜNDCHEN (2001), não observou evidências de danos celulares ou diferenças na organização dos tecidos entre a área controle e poluída, porém detectou diferenças na espessura das camadas foliares nos indivíduos adultos; principalmente na espessura do parênquima paliçádico, demonstrada pela diminuição na espessura desse parênquima na área poluída, não em número de camadas, mas no tamanho das células.

BAUCH (1986), efetuou uma ampla revisão da literatura, ressaltando as características e respostas de madeiras de árvores recusadas comercialmente, provenientes de florestas afetadas por poluição.

FRÜHWALD (1986), ao pesquisar as propriedades tecnológicas das madeiras procedentes de regiões poluídas, conclui que não há nenhuma razão para a limitação do uso comercial dessas madeiras. Enquanto que, EVERTSEN; MAC SIURTAIRN; GARDINER (1986), observaram um decréscimo da densidade média de árvores de *Picea abies*, sob o efeito de emissões SO₂ e SO₃ em áreas industriais.

VISSER *et al.* (1989), avaliaram a velocidade da seiva no xilema de árvores adultas, sob a influência de condições atmosféricas e de ar poluído. Os autores utilizaram-se do HPV (velocidade de pulso de calor) através da técnica pulsação de calor, mensurados de hora em hora, simultaneamente para concentrações de SO₂, NO, NO₂ e O₃ juntamente com temperatura do ar, intensidade luminosa, precipitação, direção e velocidade do vento; concluindo que a velocidade da seiva apresentou flutuações sob o efeito da poluição, porém a técnica utilizada (HPV) não foi eficiente para demonstrar os efeitos da poluição.

Ao avaliar o impacto da contaminação por nitrogênio em águas subterrâneas da bacia hidrográfica cárstica em Colombo-PR (FRITZSON, 1999) aponta o nitrato como principal poluente do sistema agrossilvopastoril quando se considera poluição de águas subterrâneas.

2.1.1 Poluição do Solo

O solo é considerado o recipiente primordial, intencionalmente ou não, da maioria dos rejeitos, produtos químicos e despejos, oriundos das sociedades urbanas industrializadas. A maior preocupação após a penetração desses materiais no solo, é a compreensão de como controlá-los, se possível desativá-los ou até mesmo destruí-los, pois as vias que os mesmos tomam, passam a fazer parte de um ciclo de reações que influenciam a vida de todos os seres vivos ali presentes, inclusive a do homem (BRADY, 1983).

Na visão de HAIDER (1995), o solo é um complexo habitat microbiano, dominado por uma fase sólida que é cercada por fases aquosas e gasosas que flutuam no tempo e no espaço. A fase sólida é um sistema tridimensional composto de partículas minerais de vários tamanhos, misturadas a plantas, animais, resíduos microbianos em estágios decedentes e a uma microbiota viva e altamente metabolizante, capaz inclusive de promover a transformação e degradação de substâncias químicas antropogênicas que entram no solo.

Durante um certo tempo, o interesse pela contaminação do solo e seus impactos potenciais, ficaram para trás em relação à preocupação com a contaminação das águas subterrâneas (BAUMAN, 1989). Porém, durante os últimos anos, especialmente como a avaliação da importância do comportamento de contaminantes na zona de aeração cresceu, houve um crescimento paralelo em esforços para avaliar e mitigar os riscos ambientais que podem ser causados pela presença de contaminantes residuais do solo.

Pesquisas laboratoriais e *in situ* no campo comprovam a multiplicidade de comportamentos a serem considerados quanto ao destino de um poluente no solo: os produtos químicos poderão se vaporizar e se perder na atmosfera, sem nenhuma modificação química; ou poderão ser adsorvidos pelos solos, graças a grupos funcionais, tais como $-OH$, $-NH_2$, $-NHR$, $-CONH_2$, $-COOR$ e R_3N^+ , presentes na estrutura molecular dos supostos produtos químicos; ou poderão se mover no sentido descendente do solo, sob forma líquida ou de solução e se perder por lixiviação; ou poderão ser submetidos a reações químicas na superfície ou no interior do solo; ou poderão ser desagregados pelos microrganismos (TROEH; HOBBS; DONAHUE, 1980; BRADY, 1983).

Caso haja a possibilidade de uma rota de migração de contaminantes que possa resultar em uma exposição para a população humana, é importante que essa via potencial seja avaliada cuidadosamente. BAUMAN (1989), considera que para solos contaminados por combustíveis, como gasolina, óleo diesel e petróleo, existam três vias potenciais para tal exposição: transporte de componentes solúveis para águas subterrâneas; migração de vapores pelo solo ou atmosfera; e contato direto com partículas do solo contaminado, por inalação ou ingestão.

Outra modalidade de contaminação tem despertado a atenção da comunidade científica, são compostos inorgânicos tóxicos, inclusive dos que contém mercúrio, cádmio, chumbo, arsênico, níquel, cobre, zinco, manganês, flúor e boro. Segundo BRADY (1983), numa maior ou menor proporção, todos estes elementos são tóxicos ao homem e a outros animais. Em escala descendente de

periculosidade, são considerados extremamente venenosos o cádmio e o arsênico, em graus mais moderados o mercúrio, chumbo, níquel e flúor e com toxidez relativamente menor o manganês e o zinco (Tabela 1).

Segundo MALAVOLTA (1994), quimicamente é considerado um metal pesado um elemento que possua peso específico maior que 5 g.cm^{-3} ou um número atômico superior a 20.

TABELA 1 – Quantidades Prováveis de Alguns Elementos Inorgânicos Anualmente Utilizados, com seus Empregos Principais e Fontes de Contaminação do Solo.

Produto químico	Extraídos anualmente (mil ton)	Empregos principais	Fontes principais de Contaminação do solo
Arsênico	27	Medicamentos, pesticidas, pinturas	Pesticidas, poluição industrial do ar
Boro	100	Detergentes, vidros, fertilizantes, aditivos para gasolina	Combustão da gasolina, água de irrigação
Cádmio	10	Ligas, proteção de aços contra ferrugem, baterias, pigmentos	Fundição, calcinação, galvanização de metais, impurezas de fertilizantes
Cobre	4000	Moedas, tubos, ligas, fiação elétrica	Poeiras industriais, efluências de minas, tratamento de águas residuais, fungicidas
Flúor	800	Refrigerantes, propulsores para pulverização, fertilizantes, pesticidas	Fertilizantes, pesticidas, poluição aérea local
Chumbo	2000	Aditivos para gasolina, baterias, soldas, coberturas de cabos	Combustão de gasolina com chumbo, fundição, fertilizantes, pesticidas
Manganês	6000	Ferromanganês, baterias, produtos químicos, fertilizantes	Percolação de minas, cinzas aéreas, fertilizantes
Mercúrio	3	Amálgamas dentais, drogas, luzes fluorescentes, circuitos elétricos, instrumentos científicos	Fungicidas, contaminação atmosférica por evaporação do Hg metálico
Níquel	300	Aços inoxidáveis, outras ligas, aditivos para gasolina	Fertilizantes, combustão de gasolina
Zinco	3000	Ligas, metais galvanizados, bronze, pinturas, cosméticos	Efluentes de esgotos, despejos industriais, fertilizantes, pesticidas

FONTE: Brady (1983).

O trabalho desenvolvido por RIBEIRO-FILHO *et al.* (1999) em área de rejeitos

de uma unidade de extração e industrialização de zinco, teve o objetivo de avaliar as quantidades e formas de metais pesados em sete locais representativos da área, selecionados para amostragem, baseando-se em diferenças na forma de contaminação, aspectos do solo, topografia e vegetação. Os solos estudados foram considerados poluídos, detectando-se teores excessivos de Zn, Cd, Cu e Pb, sendo que no local da ustulação, verificou-se maior percentagem de Zn trocável em todos os níveis de profundidade. Nos demais locais, o Cd apresentou também grandes concentrações nas formas trocáveis, razão por que tal elemento oferece maior risco de contaminação ambiental.

SIQUEIRA *et al.* (1999), tentaram compensar o impacto negativo causado por metais pesados sobre os microrganismos e a ação tóxica sobre as plantas de áreas degradadas. Utilizando-se de um isoflavonóide formononetina (7 hidroxí, 4'metoxi isoflavona) no crescimento e absorção de metais pelo milho (*Zea mayz* L.) misturados ao solo contaminado por 16.904, 194, 219 e 836 mg dm³ de solo de Zn, Cd, Pb e Cu, respectivamente. Concluindo que a formononetina estimulou a colonização micorrízica nos níveis mais baixos de contaminação e exerceu efeito positivo no crescimento do milho.

Experimento em tubos de percolação, realizado por BERTONCINI & MATTIAZZO (1999), utilizou três tipos de solos diferentes, classificados como Areia Quartzosa (AQ), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE), aos quais foram incorporadas sucessivas quantidades de lodo de esgoto em período de incubação. Logo após, os solos foram tratados com água ou com soluções de sais de KCl, KNO₃, K₂SO₄, Ca(NO₃)₂, adicionadas em quantidade correspondente a quatro vezes a capacidade de retenção de água dos solos. Os autores obtiveram como resultado no líquido percolado pela passagem das soluções salinas, as quantidades de Cd, Cr, Cu, Ni e ZN presentes e, no percolado obtido com passagem de água, além dos metais anteriormente citados, foram determinadas também as quantidades de Ca² e Mg², concluindo que a adição de KCl provocou o arraste do Cd adicionado via lodo aos solos LV e LE; para os outros sais utilizados e

para a água, o arraste nunca foi superior a 2% do metal pesado adicionado via lodo. A retenção de Cd, Cu, Cr e Ni aumentou com a elevação dos teores de óxidos de Fe e Al presentes nos solos.

Em estudo realizado por ACCIOLY *et al.* (2004) que objetivaram avaliar os efeitos da aplicação de doses de calcário em solos com proporções crescentes de contaminação por Zn e Cd sobre o crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, obtiveram os seguintes resultados: com a adição do calcário o pH do solo foi elevado próximo à neutralidade reduzindo os teores de Zn e Cd extraíveis no solo beneficiando o crescimento das plantas, já no solo de maior contaminação, as plantas morreram cinco dias após o transplante no tratamento sem a adição de calcário. O calcário reduziu os teores de Zn na parte aérea a concentrações abaixo das consideradas tóxicas para as plantas, mas o mesmo não se deu sobre os teores de Cd.

PIERANGELI *et al.* (2004) avaliaram o efeito do pré-tratamento do solo com P sobre a adsorção e dessorção de Cd, Cu e Pb em amostras dos horizontes A e B de dois solos: Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico (LVAw) e Latossolo Vermelho ácrico típico (LVw). Estes autores concluíram que o aumento da adsorção com o tratamento com P indica que a presença de P nesses solos contribui para reduzir a disponibilidade dos metais Cd, Cu e Pb; que a quantidade adsorvida segue a sequência $Pb \geq Cu > Cd$. Com relação à fração de metal dessorvida (metal dessorvido/ metal adsorvido), esta foi menor nas amostras previamente tratadas com P para Pb, sendo a dessorção de Cu não influenciada pelo tratamento com P.

A toxidez causada por metais pesados nas plantas, devido ao excesso dos mesmos disponíveis no solo, tem servido de parâmetro para avaliar o nível de contaminação, no caso de plantas que conseguem acumular esses metais até cerca de 1 a 3 % de seu peso seco, podem ser consideradas como hiperacumuladoras e possuem potencialidade em relação à extração desses contaminantes (SOUZA, 1999).

Algumas espécies são consideradas 'organismos monitores' porque as suas

respostas particulares aos poluentes podem ser empregadas para a detecção qualitativa e quantitativa da situação de estresse. Alguns líquens, como por exemplo *Hypogymnia physodes* possuem a capacidade de acumular poluentes minerais (Pb, Zn, Fe, Mn) de áreas urbanas. Alguns fungos e bactérias acumulam grandes quantidades de metais pesados do esgoto tratado e da água de descarte (lavagem microbiana), além de diversos representantes encontrados tanto entre espécies de criptógamos, quanto de fanerógamas (LARCHER, 2000).

O termo fitorremediação é utilizado para um conjunto de tecnologias em que a vegetação acelera o processo de limpeza ambiental (CUNNINGHAM *et al.*, 1996), através da fitodescontaminação e da fitoestabilização, fazendo com que ocorra a diminuição da concentração do poluente até níveis considerados aceitáveis (SOUZA, 1999).

Para que a fitodescontaminação aconteça, uma série de processos é requerida: a fitoextração, fitovolatilização, fitodegradação e rizodegradação. Na fitoextração a planta absorve o contaminante, e após, é retirada do local; na fitovolatilização a planta associada à população microbiana auxilia na volatilização do contaminante; na fitodegradação a planta absorve e metaboliza o contaminante em subprodutos não tóxicos; na rizodegradação, as raízes associadas aos microrganismos degradam o contaminante na rizosfera. Já a fitoestabilização é um processo de ocorrência natural, que pode acontecer de três maneiras, através da Humificação: no qual o contaminante é incorporado no húmus do solo; da Lignificação: o contaminante torna-se, irreversivelmente, um constituinte da parede celular; de Ligação irreversível: o contaminante é, irreversivelmente, ligado ao solo (CUNNINGHAM *et al.*, 1996; SOUZA, 1999).

Segundo SOUZA (1999), a vantagem da fitorremediação se dá principalmente, devido à maior viabilidade econômica, quando comparada aos outros métodos de tratamento de resíduos sólidos. O custo de um tratamento para descontaminação do solo depende das características e da quantidade do poluente, mas estima-se que, a fitorremediação de um hectare de solo, custe três vezes menos que um tratamento

biológico *in situ* (CUNNINGHAM *et al.*, 1996; SOUZA, 1999).

2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PETRÓLEO

O petróleo é um importante recurso natural. Em suas formas refinadas, o mesmo é usado para produção de energia e de materiais sintéticos diversos, plásticos, tintas, borrachas e inúmeros outros derivados, enquanto que, seu resíduo asfáltico, é utilizado na queima, construção e estradas. Mas sobretudo, é na produção de energia que está a sua maior utilização.

Considerado um composto natural de grande complexidade, constituído por compostos orgânicos, óleos e compostos inorgânicos associados, o petróleo, em termos quantitativos tem como seu melhor representante os hidrocarbonetos, moléculas que apresentam peso molecular que variam de 16 g.mol⁻¹, como o metano, a substâncias sólidas com pesos moleculares chegando a 20.000 g.mol⁻¹ (CLARK & BROWN, 1977). São, geralmente, classificados em três grupos: hidrocarbonetos alifáticos ou parafínicos, alicíclicos ou naftênicos e aromáticos. Os dois primeiros grupos possuem cadeias saturadas e insaturadas, e o terceiro a presença do anel benzênico (BAKER, 1970).

As moléculas parafínicas, por exemplo podem oscilar entre 1 a 78 átomos de carbonos; as cadeias naftênicas com 5 ou 6 átomos de carbono e uma grande variedade de compostos aromáticos; associados a outros elementos que podem estar presentes, como enxofre em uma concentração de 0,1% a 5-6 % por peso e nitrogênio de 0,1% a 1%, ambos presentes em arranjos tipicamente orgânicos; já o oxigênio pode estar presente até 2 %. Os elementos traços mais encontrados no petróleo são vanádio e níquel, ambos em concentrações de até 1400 ppm, ocorrendo como complexos organometálicos (CLARK & BROWN, 1977; FREEDMAN, 1993; CLARK, 1997). Dependendo da procedência do petróleo, a

composição dos hidrocarbonetos pode variar muito (Tabela 2).

TABELA 2 – Características químicas de várias fontes de petróleo.

Componentes	Prudhoe Bay	South Louisiana	Kuwait
Enxofre (w%)	0,94	0,25	2,44
Nitrogênio (w%)	0,23	0,69	0,14
Níquel (ppm)	10	2,2	7,7
Vanádio (ppm)	20	1,9	28
Nafta (20-205°C)	23,2	18,6	22,7
(w%)			
Parafínicos	12,5	8,8	16,2
Naftênicos	7,4	7,7	4,1
Aromáticos	3,2	2,1	2,4
Fração alto-fervente (>205° C)	76,8	81,4	77,3
Saturados	14,4	56,3	34,0
Aromáticos	25,0	16,5	21,9
Materiais polares	2,9	8,4	17,9
Insolúveis	1,2	0,2	3,5

Fonte: CLARK & BROWN, (1977), modificado por FREEDMAN, (1993).

Segundo o laudo da PETROBRÁS (2003) sobre a caracterização física e química preliminar do óleo derramado na REPAR, em 2000, o tipo de petróleo é Cusiana, e tem, como propriedades um volume de 0,025% de água e sedimentos, densidade 0,9817, enxofre total 0,21% e viscosidade cinemática (40°C) de 2,316 mm².s⁻¹. Quanto à concentração de hidrocarbonetos, é classificado com um perfil parafínico na faixa de C₁₀ e C₁₄, com 71% de compostos saturados, 18% de compostos aromáticos, 10% de resinas e 1% de asfaltenos. Foram também determinados os teores dos metais presentes na amostra (Tabelas 3 e 4).

TABELA 3 – Determinação do teor de metais

Metais	mg/Kg
Chumbo	<10
Zinco	<2
Cobre	<1
Níquel	3
Ferro	3
Manganês	<2
Vanádio	5
Bário	<5
Cálcio	9
Fósforo	<15
Silício	< 100
Cloro	103

FONTE: PETROBRÁS (2003).

TABELA 4 – Análise por Espectrofotometria de Absorção atômica com atomização em chama, para determinação do teor de metais

Amostras	Níquel (mg/Kg)	Vanádio (mg/Kg)
Solo não contaminado	2	43
Solo contaminado	9	91

FONTE: Departamento de Química Aplicada UTQA – Laboratório de Absorção Atômica, LACTEC, (2003).

2.2.1 Recuperação do Solo Poluído por Petróleo e o Efeito nas Plantas

Para a obtenção do conhecimento e uma possível descrição dos efeitos e comportamentos do petróleo no solo, inúmeros trabalhos e pesquisas vêm sendo desenvolvidos, muito embora, deparem com a grande dificuldade de avaliar os efeitos em termos quantitativos.

EASTCOTT; SHIU; MACKAY (1989) consideram ser, relativamente, fácil descrever o destino do petróleo no solo em termos meramente qualitativos, como por exemplo, para aqueles produtos voláteis do petróleo, como a gasolina, há uma perda considerável por evaporação; alcanos normais, os quais estão sujeitos a uma biodegradação bastante rápida; e hidrocarbonetos aromáticos, particularmente, os de baixo peso molecular são suscetíveis à dissolução em água e podem causar contaminação de materiais nas águas da localidade. No entanto, é muito mais difícil de fazer declarações rigorosas, cientificamente justificáveis, nas quais estes

processos são descritos em condições quantitativas. Em muito poucos casos, foi possível declarar por exemplo, que em um período de um ano, 20% de uma massa particular de derramamento de óleo estavam perdidos por evaporação, 2% através da dissolução, que 30% através da biodegradação, e que 3% foram alterados através de fotólise (EASTCOTT; SHIU; MACKAY, 1989).

A sorção (absorção e adsorção) e a biodegradação são dois processos dominantes que determinam o destino de contaminantes orgânicos em solos e aquíferos. A sorção pode seqüestrar os contaminantes orgânicos de regiões inacessíveis a microrganismos de outra biota, e assim pode diretamente ou indiretamente limitar ambas as taxas e extensões de biodegradação e biodisponibilidade (MCKENZIE; HYATT; MCDONALD, 1995).

Segundo PRESLO *et al.* (1989), uma grande variedade de tecnologias vem sendo empregada na recuperação das áreas contaminadas (Tabela 5).

TABELA 5 - Resumo das tecnologias de recuperação de áreas contaminadas por petróleo

Tecnologia	Vias de exposição	Aplicáveis aos produtos do petróleo	Vantagens	Limitações	Custos relativos
<i>In Situ</i>					
Volatilização	1 - 7	1,2,4	Remove alguns compostos resistentes a biodegradação	VOCs somente	Baixo
Biodegradação	1 - 7	1,2,4	Efetivo sobre alguns compostos não voláteis	Em longo prazo	Moderado
Lixiviação	1 - 7	1,2,4	Aplicável para grande variedade de compostos	Não comumente praticado	Moderado
Vitrificação	1 - 7	1,2,3,4		Desenvolvimento de tecnologias	Alto
Reparação passiva	1 - 7	1,2,3,4	Baixo custo e implementos simples	Variação dos graus de remoção	Baixo
Isolamento / Contenção	1 - 7	1,2,3,4	Prevenção física e impedimento da migração	Compostos não destruídos	Baixa a moderada
<i>Ex Situ</i>					
Tratamento do Solo	1 - 7	1,2,3	Uso de processos de	Alguns resíduos permanecem	Moderada

			degradação natural		
Tratamento térmico	1 - 6	1,2,3,4	Possível destruição completa	Normalmente requer instalações especiais	Alta
Incorporação asfalto	1 - 6	1,2	Uso de instalações existentes	Incompleta remoção de combinações mais pesadas	Moderado
Solidificação	1 - 6	1,2,3,4	Compostos imobilizados	Não comumente praticados para solos	Moderado
Extração e tratamento de águas subterrâneas	1 - 6	1,2,4	Recuperação e restauração das águas subterrâneas		Moderado
Extração química	1 - 6	1,2,3,4		Não comumente praticado	Alto
Escavação	1 - 6	1,2,3,4	Remoção do solo de lugar	Responsabilidade em longo prazo	Moderado

Vias de exposição: 1= vapor inalado; 2= Poeira inalada; 3= Ingestão solo; 4= Contato pela pele; 5= Águas subterrâneas; 6= Águas de superfície; 7= Absorção pelas plantas. Aplicáveis aos produtos do petróleo: 1= gasolina; 2= óleo combustível; 3= resíduos de piche de carvão; 4= solventes clorados. Fonte: Preslo *et. al.* (1989), Remedial Technologies for Leaking Underground Storage Tanks, EPRI CS-5261, (Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute).

Acredita-se que em ambientes costeiros, o material residual de petróleo, isto é, o restante que permanece após a maioria da evaporação e solubilização das frações leves ter ocorrido, forme uma emulsão, pouco estável e gelatinosa conhecida como "mousse". Este resíduo quando levado ao solo, pode se combinar com partículas de sedimento de areia para formar bolas de piche, que serão soterradas na praia ou serão levados de volta para o mar, onde a degradação das emulsões por oxidação biológica e fotooxidação de componentes leves cria blocos de um resíduo asfáltico, denso semi-sólido, importantes como indicadores de poluições crônicas de praias ou de ambientes pelágicos (MELLANBY, 1982; TIVY, 1995; CLARK, 1997).

O processo de utilização de plantas associadas a microbiota, conhecido como a biorremediação, tem sido considerado bastante eficaz na extração, remoção, contenção e redução de contaminantes prejudiciais ao ambiente (SOUZA, 1999) considerando também, que isto se dê, através da proliferação microbiana na rizosfera (ADAM & DUNCAN, 1999).

A capacidade potencial de o petróleo estar associado a níveis tóxicos para os seres vivos, é bastante discutida e amplamente estudada através de vários bioensaios, sabe-se que o grau de toxidez aumenta na ordem: compostos saturados, insaturados e aromáticos (BAKER, 1970).

Percebeu-se que a toxidade de determinados hidrocarbonetos está fortemente evidenciada pela sua estrutura química e a sua hidrofobicidade, isto é, os mais solúveis em água são menos tóxicos. Conseqüentemente a taxa de transporte de hidrocarbonetos nos organismos depende de sua solubilidade na fase lipídica das membranas celulares; já nos casos de exposição aguda a hidrocarbonetos, o efeito tóxico evidenciado é o rompimento e a perda da integridade da membrana protoplasmática (CLARK, 1997); e alterando a permeabilidade da membrana rompe também com diversos processos metabólicos (PEZESHKI *et al.*, 2000).

Por outro lado, FREEDMAN (1993), afirma que os maiores danos ecológicos após um derramamento de petróleo são freqüentemente atribuídos às frações leves, ou seja, mais solúveis em água; e a razão desta aparente contradição baseia-se no fato de que os hidrocarbonetos mais leves constituem uma grande fração do número total de moles derramado que entram em contato com os organismos em relação aos hidrocarbonetos pesados ou menos solúveis.

A poluição por petróleo além de deteriorar as condições hidrológicas e as propriedades físicas do solo, reduz drasticamente as quantias de nitrogênio móvel e de compostos fosforados (DELAUNE; PATRICK JR; BURESH, 1979), exercendo efeitos tóxicos sobre as plantas, causando a destruição de clorofilas e carotenóides (MALALLAH *et al.*, 1998; CHUPAKHINA & MASLENNIKOV, 2004).

CLARK & MACLEOD (1977), citam exemplos de plantas de ambientes aquosos que foram submetidas à exposição crônica por derramamentos de petróleo, e as conseqüentes bioconcentrações elevadas de hidrocarbonetos em seus tecidos, como no caso da alga *Enteromorpha clathrata*, com 429 ppm, da planta de mangue *Spartina alterniflora*, 15 ppm, e de *Zostera marina*, com 17 ppm.

PEZESHKI *et al.* (2000), avaliaram espécies do mangue, *Spartina alterniflora* e *Spartina patens*, sobre os efeitos do óleo e a capacidade dessas espécies em promover a limpeza do ambiente. Em curto prazo detectaram uma redução na taxa de transpiração, fotossíntese e fixação de carbono e um aumento na mortalidade de alguns exemplares. Os autores concluíram que os efeitos diretos do óleo sobre as plantas dependem de um grande número de variáveis: como temperatura, propriedades físicas do óleo, densidade ou peso, bem como de sua toxicidade química. Interação sinérgica, é o termo utilizado por PROFFITT; DEVLIN; LINDSEY (1995), para explicar o efeito do óleo devido as suas características, somado às condições ambientais. Colocações essas, que corroboram com as citadas por BAKER (1970); XIONG *et al.* (1997). Sendo que, GREEN *et al.* (1996) também consideraram a hipótese de interações sinérgicas ao observarem alterações nas estruturas celulares de *Tradescantia* em ambiente contaminado por óleo diesel contendo partículas mutagênicas.

SMITH; DELAUNE; PATRICK JR (1981), utilizaram câmaras com troca gasosa para determinar o grau de estresses subletal, em comunidades de plantas do mangue afetadas pelo petróleo, verificando um decréscimo significativo na taxa de fixação de CO₂; resultados compatíveis aos encontrados por GOUDEY; DALE; HODDINOTT (1985) que detectaram clorose com posterior necrose das folhas, em *Salix interior*.

KUHN *et al.* (1998) demonstraram que tomates da espécie *Lycopersicon esculentum*, crescem em solo contaminado no Kuwait, com até 0,36% de petróleo no solo, mas a maturação e a produção de fruta só aconteceu com o nível de contaminação abaixo de 0,12%.

Pesquisando folhas de *Geum urbanum* L., *Anthriscus sylvestris* L., *Glechoma hederata* L., e *Achillea millefolium* L., que foram coletadas em zona poluída com produtos petrolíferos ao longo dos trilhos de uma estrada de ferro, CHUPAKHINA & MASLENNIKOV (2004) chegaram à conclusão que a poluição por petróleo estimulou o acúmulo de antocianinas em todas as espécies de plantas estudadas; a

quantidade de ácido ascórbico nas folhas de plantas da zona poluída também excedeu ao nível encontrado nas plantas controles; resultados similares foram obtidos quando analisaram quantidades de riboflavinas, onde foram obtidos os maiores valores, tanto para as formas reduzidas quanto para as formas oxidadas.

SOUZA (1999), analisou a altura média, o incremento periódico e a sobrevivência de treze espécies vegetais nativas da região da REPAR, sob o efeito da contaminação de resíduos oleosos de petróleo em solo biorremediado. Estudo com a espécie nativa *Campomanesia xanthocarpa* efetuado por MAYER (2004), em experimento de campo (REPAR), demonstrou que a contaminação por petróleo diminuiu os teores de clorofila (a,b e total) embora, não diferindo estatisticamente ($p < 0,05$). Porém foram registradas diferenças significativas nas quantidades de matéria seca das plantas, sendo que, as plantas crescidas nos tratamentos contaminados obtiveram os maiores valores. Uma justificativa para tais resultados, se deve ao fato, de a área não contaminada ser um local sombrio, afetando o crescimento e o desenvolvimento das mesmas, já que essa espécie é heliófita.

Resultados diferentes foram obtidos por OLIVEIRA (2004), ao pesquisar os efeitos da contaminação por petróleo em *Schinus terebinthifolius*, pois houve uma diminuição da biomassa das plantas da área contaminada comparadas às áreas controle.

MARANHO (2004) registrou alterações significativas na estrutura das folhas e do lenho adulto de *Podocarpus lambertii* que sofreu influencia direta de derramamento de petróleo na área da REPAR, sendo que as folhas coletadas no ambiente onde houve exposição ao petróleo possuíam, aproximadamente, comprimento 75%, largura% e área foliar 78% menores do que as folhas controles. A mesma autora, analisando através de Cromatografia Gasosa o efeito da poluição por petróleo na composição polissacarídica do lenho de *Podocarpus lambertii*, ao comparar as camadas de crescimento observou que houve uma redução nas porcentagens de manose e glucose, concluindo que a composição polissacarídica destes indivíduos foi afetada diretamente pela exposição à poluição por petróleo.

SANTOS *et al.* (2004), acompanharam o crescimento e desenvolvimento de mudas de *Podocarpus lambertii*, em solo contaminado com petróleo (REPAR), após um ano do derramamento, constatando que houve redução no crescimento das plantas em solo contaminado, em relação aos controles.

BONA e SANTOS (2003) avaliaram (a campo e estufa) o impacto causado pelo solo contaminado com petróleo, no crescimento e desenvolvimento de mudas de sete espécies arbóreas nativas da região da REPAR, *Campomanesia xanthocarpa* Berg. (Guabiroba), *Sebastiania commersoniana* Smith & Downs Baillon (Branquilho), *Schinus terebintifolius* Raddi (Aroeira), *Allophylus edulis* (Vacum), *Eugenia uniflora* L. (Pitanga), *Mimosa scabrela* (Bracatinga) e *Podocarpus lambertii* Klotzsch (Pinheiro-bravo) chegando aos seguintes resultados em relação a *C. xanthocarpa* do experimento da estufa, não apresentou diferença estatística no crescimento e peso seco das plantas; e a *S. commersoniana* que apresentou maior crescimento nos solos adubados, tanto contaminados como não contaminados, sendo que a menor taxa de crescimento para essa espécie foram encontradas nas plantas que cresceram em solo contaminado destituído de adubo.

2.3 ESSENCIALIDADE DOS ELEMENTOS INORGÂNICOS

A maior parte dos elementos que são necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas é encontrada na rocha matriz que ao se decompor vai gradualmente liberando íons e compostos inorgânicos na formação do solo.

Experimentos para acompanhar o crescimento de plantas em solução nutritiva, meio em que a composição química é cuidadosamente controlada, foram efetuados desde o século XIX, por Julius von Sachs, Nicolas-Théodore de Saussure, Jean-Baptiste-Joseph-Dieudonné Boussingault e Wilhelm Knop (SALISBURY & ROSS, 1992; MAUSETH, 1998; TAIZ & ZEIGER, 2004) quando através do método das

tentativas, ensaio e erro testavam os elementos minerais quanto à presença ou ausência, a concentração e o fato de serem indispensáveis ou não para as mesmas. Nesta época, surge a conotação de 'essencialidade', isto é, a existência de determinados elementos que se apresentam como imprescindíveis para a sobrevivência das plantas baseados em três critérios: 1) cuja ausência impede uma planta de completar seu ciclo de vida (Arnon & Stout, 1939 apud TAIZ & ZEIGER, 2004; MALAVOLTA, 1980; MAUSETH, 1998); 2) não pode ser trocado por um elemento químico similar; 3) a ação deverá ser dentro da planta (MAUSETH, 1998), participando de muitas funções consideradas essenciais nas plantas, especialmente como constituintes de tecidos vegetais, reguladores osmóticos, controladores da permeabilidade de membrana, coenzimas, e reguladores ou inibidores do sistema enzimático (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997).

No grupo dos metais pesados, o caráter da essencialidade também está presente para o Cu, Fe, Mn, Mo, Zn. Como elementos benéficos o Co, Ni e V. Não essenciais ou sem função o Al, Cd, Cr, Hg, Pb (MALAVOLTA, 1994).

Segundo os autores CLARK & BROWN (1977); FREEDMAN (1993); CLARK (1997) os elementos traço mais encontrados no petróleo são vanádio e níquel, ambos em concentrações de até 1400 ppm, ocorrendo como complexos organometálicos. Em certos casos, em que se deu a contaminação do solo por petróleo contendo diversos resíduos e inclusive metais pesados, a existência de altas concentrações de Mg e Fe no solo pode ser decisiva na redução da solubilidade do níquel presente naquele ambiente, tornando-o indisponível às plantas (MORREY; BALKWILL; BALKWILL, 1989).

Segundo KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1992), o destino metabólico e o papel de cada micronutriente nas plantas pode estar caracterizado em relação a alguns processos básicos tais como: ascensão dos elementos (absorção), e transporte dentro da planta; processos enzimáticos; concentração e formas de ocorrência; deficiência e toxicidade; competição e interação de íons. Sendo que esses tópicos são relativamente bem conhecidos para certos micronutrientes, mas

que futuras investigações são necessárias para muitos outros elementos traços.

2.3.1 Macro e micronutrientes

Para MENGEL & KIRKBY (1982) a absorção de K e sua retenção na planta é também afetada pela competição com outros elementos como H, Ca, Mg e Na. Os autores, em seus experimentos com cevada, demonstraram que o baixo suprimento ou ausência de K por 8 dias aumenta significativamente o teor de Ca e de Mg nas plantas; entretanto, esses cátions não são capazes de substituir as principais funções fisiológicas desempenhadas pelo K, como por exemplo à abertura e fechamento dos estômatos. Além disso, o K é de fácil translocação de órgãos maduros para os mais jovens, dentro da planta (TAIZ & ZEIGER, 2004). Quanto ao ataque de pragas, CHABOUSSOU (1999) afirma que o uso de macronutrientes, como o K ou o Ca no solo, estimula a resistência da planta contra o ataque de pragas, uma vez que, o uso da adubação potássica diminui o acúmulo de aminoácidos livres e favorece sua incorporação às proteínas.

A maior parte do Ca absorvido é transportada via xilema, embora também possa fazê-lo pelo floema, sendo que, em ambos os casos, o mesmo pode ser deslocado dos sítios de troca por outros cátions, como por exemplo Mg, K, Mn, e uma vez alojado nas folhas se torna bastante imóvel, sendo redistribuído com certa dificuldade (MARSCHNER, 1995). MENGEL & KIRKBY (1982), consideram que os altos teores de Ca nas folhas estão muito mais correlacionados a altas concentrações disponíveis desse elemento no solo do que propriamente a questões da eficiência de absorção do sistema radicial da planta. Segundo SIMÕES & COUTO (1973) soluções nutritivas com a carência de Ca e a de K aumentaram sensivelmente o teor de Mg na parte aérea de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

BAUCH (1983), menciona que a distribuição de alumínio nas raízes de espécies arbóreas pode ser um indicativo de toxidez para as plantas ou não, questionando em que nível esse contato levaria a um dano micorrízico, pois

constatou que a relação $\text{Ca} / \text{Al} > 1$ foi encontrada para árvores saudáveis, enquanto que a relação $\text{Ca} / \text{Al} \ll 1$ para árvores doentes.

Segundo MALAVOLTA (1980), além da função estrutural do fósforo como fosfolipídeos de membrana, tem também a função de armazenamento e fornecimento de energia na forma de trifosfato de adenosina (ATP) cuja hidrólise de um ou dois radicais fosfatados terminais liberta cerca de $7600 \text{ cal.mol}^{-1}$; corroborada à questão de que a absorção de P esteja fortemente influenciada pela concentração de Mg^{+2} do meio, devido a um efeito sinérgico (LARCHER, 2000).

O elemento considerado mais abundante no solo, é o Fe, seguido do Mn, desde que atendendo a determinadas condições: com o valor do pH não elevado (pois alterações do pH, estão correlacionadas com alterações da concentração desse elemento na solução do solo); não ter excesso de matéria orgânica; baixos teores de P, Cu e Zn; ausência de períodos de seca; altas temperaturas do solo; sendo que os sintomas de toxidez para as plantas se evidenciariam nos casos de pH muito baixo ou pelo encharcamento do solo (MALAVOLTA, 1980).

Quando se denota um decréscimo do teor médio de Fe nas plantas, essa diminuição poderia estar associada à baixa disponibilidade de ferro total; ou a capacidade de absorção desse elemento pelas plantas; ou a altas concentrações de P, Mn, Zn, ou também com a elevação do pH levando a clássica clorose induzida por calcário (MALAVOLTA, 1980).

Nas células vegetais, os íons Mg^{2+} têm um papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese, síntese de DNA e RNA e por ocupar o centro da estrutura planar da clorofila, formada por um anel tetrapirrólico, onde cerca de 10% do Mg total da folha está na clorofila, de cujo peso representa 2,7% (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Entre as diversas funções do Zn, é considerado essencial para a síntese do triptofano que, por sua vez, é o precursor do ácido indolil acético (AIA), um dos responsáveis pelo aumento do volume celular; em caso de deficiência de Zn, concomitantemente, reduzem-se às taxas de RNA, o que resulta em uma diminuição

de síntese protéica (MARSCHNER, 1995).

2.4 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

2.4.1 *Campomanesia xanthocarpa* Berg.

Essa espécie pertence à divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, subclasse Rosidae, ordem Myrtales, família Myrtaceae R. Br., gênero *Campomanesia* Ruiz et Pavon, espécie *Campomanesia xanthocarpa* Berg. (MARTIUS, 1906; INDEX KEWENSIS, 1885-1990; CRONQUIST, 1988).

A família Myrtaceae compreende cerca de 100 gêneros e 3000 espécies de árvores e arbustos, que se distribuem nas regiões tropicais e subtropicais (METCALFE & CHALK, 1950; MARCHIORI & SOBRAL, 1997). Suas espécies são comumente encontradas na Austrália e na América do Sul, sendo raras nas regiões temperadas (BARROSO, 1984; JOLY, 1993; TAKHTAJAN, 1997), e inexistentes na Antártida (MARCHIORI & SOBRAL, 1997). Possuem folhas inteiras, opostas ou alternas, sendo que, o traço característico desses representantes é a presença de cavidades que secretam substâncias oleíferas, aromáticas e taninos.

O gênero *Campomanesia* Ruiz et Pavon pertence subfamília *Myrtoideae*, distinguindo-se da subfamília *Leptospermoideae* por apresentar folhas opostas, frutos carnosos e sementes relativamente grandes (CRONQUIST, 1981). Cinco das 26 espécies desse gênero (LANDRUM, 1986), são encontradas naturalmente no Rio Grande do Sul, *Campomanesia áurea* Berg; *Campomanesia guazumifolia* (Cambessèdes) Berg; *Campomanesia littoralis* Legrand; *Campomanesia rhombea* Berg; *Campomanesia xanthocarpa* Berg (MARCHIORI & SOBRAL, 1997).

Campomanesia xanthocarpa Berg tem como sinonímia botânica: *Campomanesia malifolia* Berg (MARCHIORI & SOBRAL, 1997) e *Eugenia xanthocarpa* Mart. Non nud, *Psidium punctulatum* DC., *Psidium eugenoides* Camb

(LORENZI, 1992). São árvores que atingem de 10 - 25m de altura e entre 30 - 70cm de D. A. P., possuem o tronco dotado de caneluras e casca pardo- acinzentada, que se soltam em delgadas tiras, representantes do estrato superior (BARROTO DO CARMO & MORELLATO, 2001). As folhas de consistência membranácea e no final cartácea, são longamente pecioladas 6 - 12mm, opostas, simples, inteiras, com limbos oval-oblongos a oblongos 3,5 - 8cm de comprimento e 2 - 4,5cm de largura; florescem de setembro a novembro; atingindo a maturação dos frutos de novembro e dezembro em diante (LEGRAND & KLEIN, 1977; LORENZI, 1992; JOLY, 1993; MARCHIORI & SOBRAL, 1997); é considerada uma espécie zoocórica, com padrão de frutificação elevada durante toda a estação chuvosa de outubro-novembro (BARROTO DO CARMO & MORELLATO, 2001). Recebe o nome popular de guabiroba, guabirobeira, guavirova, guabirobeira-do-mato, gabirobeira ocupando uma área bastante abrangente, desde o estado do Espírito Santo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, toda a região sul do Brasil, Paraguai, norte do Uruguai, estendendo-se até a província de Tucumán na Argentina (LEGRAND, 1961; LEGRAND & KLEIN, 1977; LANDRUM, 1986; LORENZI, 1992; MARCHIORI & SOBRAL, 1997). É uma planta decídua, mesófila até heliófita e, seletiva higrófila. Habita preferencialmente sítios úmidos das matas de altitude, na Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Densa (LORENZI, 1992; MARCHIORI & SOBRAL, 1997).

2.4.2 Dados da anatomia de madeira da família Myrtaceae

As descrições anatômicas específicas para o gênero *Campomanesia* Ruiz et Pavon são bastante restritas, poucas espécies deste gênero já foram descritas na literatura. Segundo METCALFE & CHALK (1950) as características gerais desse gênero são: presença de cavidades secretoras, geralmente quando jovens secretam óleos; vasos com diâmetro tangencial de tamanho médio (100-200µm) e placa de perfuração simples; tipicamente solitários, porém com múltiplos ocasionais, embora

sem nenhum padrão definido, os vasos, formam linhas oblíquas, entre (5-20 vasos.mm⁻²). Quanto ao parênquima axial predominantemente apotraqueal; raios multisseriados com 4-6 células de largura, heterogêneos com 1-3 fileiras de células; fibras com pontuações simples.

Os resultados da descrição microscópica da madeira de *Campomanesia guazumaefolia* (Camb.) Berg., efetuada por MARCHIORI (1998), corroboram com os já mencionados por METCALFE & CHALK (1950), exceto para os valores do diâmetro tangencial dos vasos que variaram entre (30-49-69 µm).

A ocorrência de placas de perfuração múltiplas e espessamento helicoidal de parede dos elementos de vasos foi extensivamente explorada por SCHMID & BAAS (1984), em 144 espécies, em 53 gêneros da família Myrtaceae, sendo que, placas de perfuração do tipo escalariformes foram encontradas em 40 espécies, e o espessamento helicoidal de parede dos vasos ocorreu em 33 espécies dessa mesma família.

Segundo CALLADO *et al.* (2001), as características anatômicas dos anéis de crescimento de espécies arbóreas propensas à inundação, revelaram em *Marlierea georgeana* Berg. (Myrtaceae), limites de anel de crescimento distintos, marcados pelo espessamento e achatamento de fibras do anel tardio, além do que, a diminuição do número de vasos e de parênquima axial.

O estudo de anatomia de madeira de quatro gêneros pertencentes à família Myrtaceae, *Calyptranthes*, *Gomidesia*, *Marlierea* e *Myrcia*, foram descritos por DIAS-LEME; GASSON; NIC LUGHADHA (1995), constatando a presença de vasos solitários, placas de perfuração simples, pontuações alternadas em elementos de vasos, parênquima paratraqueal, difuso ou difuso em agregado formando bandas ininterruptas, raios heterocelulares com células de paredes disjuntivas.

A pesquisa efetuada por SOFFIATI & ANGYALOSSY-ALFONSO (1999), objetivou comparar a anatomia do lenho e da casca de duas espécies de *Eugenia* L. (Myrtaceae), concluindo que as espécies apresentaram resultados relativamente uniformes, vistos sob a ótica da anatomia do lenho; em contrapartida a anatomia da

casca mostrou diferenças mais evidentes, como por exemplo, o tipo e o arranjo das células esclerificadas no floema, tipo de periderme e presença de ritidoma, estas características foram eficazes na separação e identificação das espécies.

2.4.3 *Sebastiania commersoniana* (Baillon) L. B. Smith & R. J. Downs, comb. nov.

Essa espécie pertence à divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, subclasse Rosidae, ordem Euphorbiales, família Euphorbiaceae, gênero *Sebastiania* Sprengel, espécie *Sebastiania commersoniana* (Baill.) Smith & Downs (INDEX KEWENSIS, 1885-1990; CRONQUIST, 1988). Considerada como uma das maiores famílias das Angiospermas, a família Euphorbiaceae, reúne cerca de 300 gêneros e 7300 espécies de árvores, arbustos, ervas e até lianas, distribuídas em todas as partes do mundo, embora com maior abundância nas regiões tropicais (METCALFE & CHALK, 1950; CRONQUIST, 1969; MARCHIORI & SOBRAL, 2000). São plantas que possuem folhas alternas, inteiras ou partidas, e geralmente com estípulas, sendo que, o traço característico desses representantes é a produção de látex.

O gênero *Sebastiania* pertence à subfamília Crotonoideae, distinguindo-se da subfamília Phyllanthoideae por apresentar folhas raramente verticiladas, laticíferos geralmente articulados (METCALF & CHALK, 1950; TAKHTAJAN, 1997), isto é, de origem multicelular (RUDALL, 1989), e óvulos únicos em cada lóculo (SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988). Seis espécies do gênero são encontradas naturalmente no Estado de Santa Catarina, *Sebastiania corniculata* (Vahl) Mueller Argoviensis; *Sebastiania hispida* (Martius) Pax; *Sebastiania schottiana* (Mueller Argoviensis) Mueller Argoviensis var. *schottiana*; *Sebastiania schottiana* (Mueller Argoviensis) Mueller Argoviensis var. *angustifolia* (Mueller argoviensis) Pax e K. Hoffmann; *Sebastiania argutidens* Pax e K. Hoffmann; *Sebastiania commersoniana* (Baillon) L. B. Smith & R. J. Downs, comb. nov.; *Sebastiania brasiliensis* Sprengel; (SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988).

Sebastiania commersoniana tem como sinonímia botânica: *Adenogyne*

discolor Kl., *Adenogyne marginata* Kl., *Gymnanthes discolor* Baill., *Gymnanthes marginata* Baill., *Gymnanthes klotzschiana* M. Arg., *Stillingia commersoniana* Baill., *Sebastiania klotzschiana* (M. Arg.) M. Arg., *Sebastiania klotzschiana* (M. Arg.) M. Arg. Var. *klotzschiana* Smith & Downs (SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988; LORENZI, 1992; MARCHIORI & SOBRAL, 1997). São árvores que atingem 2-15m de altura e entre 20-50m de D.A.P., possuem o tronco geralmente nodoso quando jovens, ramos rijos, não flexíveis com a presença de abundantes espinhos; representantes do estrato inferior (BARROTO DO CARMO & MORELLATO, 2001). Folhas curtamente pecioladas entre 2-10mm, simples, alternas, coriáceas e elíptico-lanceoladas ou oblanceoladas, medindo de 1-6cm de comprimento e 1,5-4cm de largura; florescem o ano todo, porém mais intensamente de setembro a novembro, frutificando de janeiro a abril (SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988; LORENZI, 1992; MARCHIORI & SOBRAL, 1997); quanto ao modo de dispersão das sementes, é principalmente hidrocoria (BARROTO DO CARMO & MORELLATO, 2001). Recebe o nome popular de branquilha, branquinho, sua dispersão é ampla embora descontínua, desde o Estado de Minas Gerais, Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul, bem como no Paraguai, Uruguai e Argentina. É uma planta decídua, heliófita, seletiva higrófila, pioneira nas matas ciliares de diversas formações florestais, característica e quase exclusiva das planícies aluviais, onde geralmente se torna a espécie dominante, formando 60% a 80% do estrato contínuo das florestas de galeria (SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988). Muito indicado para compor reflorestamentos mistos destinados à recomposição de áreas degradadas ao longo das margens de rios e reservatórios, devido à preferência por solos úmidos e brejosos (LORENZI, 1992).

2.4.4 Dados de anatomia da madeira da família Euphorbiaceae

Segundo METCALFE & CHALK (1950) são características do gênero: a presença de grupos de células epidérmicas silicificadas em algumas espécies, de células ou vasos laticíferos; tendo como diâmetro tangencial de seus vasos cerca de 50µm ou menos, vasos eventualmente solitários, em sua maioria são múltiplos com padrão radial; entre porosidade de (5-17 vasos.mm⁻²); placas de perfuração simples. Possui parênquima abundante e tipicamente apotraqueal, formando linhas unisseriadas, algumas espécies apresentam cristais. Raios unisseriados e eventualmente bisseriados, com geralmente mais do que 1mm de largura. As pontuações das fibras são consideradas pequenas.

RUDALL (1989) registrou a presença de laticíferos atravessando tecidos primários, do câmbio vascular e xilema secundário de caules jovens, de várias espécies do gênero *Croton*, entretanto sua precisa função ainda não conhecida totalmente, talvez possa estar associada à cicatrização de feridas através do processo da coagulação.

Segundo CALLADO *et al.* (2001), as características anatômicas dos anéis de crescimento de espécies arbóreas propensas à inundação, revelaram em duas espécies do gênero *Alchornea* (Euphorbiaceae), anéis de crescimento distintos. Em solos periodicamente inundados, fibras gelatinosas no anel primaveril versus fibras não gelatinosas no anel tardio, enquanto que, em árvores permanentemente inundadas a presença de zonas de fibras gelatinosas irregulares.

Características da anatomia de madeira da subfamília Acalyphoideae (Euphorbiaceae), foram descritas por HAYDEN & HAYDEN (2000), tais como, anéis de crescimento indistintos, ou fracamente definidos, poros uniformemente distribuídos, placas de perfuração simples, raios heterocelulares, fibro-traqueídes não septados ou fibras libríformes, e eventualmente a presença de canais radiais lisígenos.

O estudo de anatomia do lenho de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) de

solos com diferentes níveis de umidade, realizado por LUCHI (2004), revelou um fato novo, pois a frequência e o diâmetro dos vasos aumentaram em condições de alagamento.

GARCIA *et al.* (2004), monitorando os efeitos da poluição por petróleo na estrutura do lenho de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae), observaram que quantitativamente, as amostras, principalmente da última camada de crescimento, demonstraram variações nas dimensões dos elementos de vasos entre o ambiente contaminado e o não contaminado. Houve uma diminuição no comprimento e diâmetro dos elementos de vasos.

2.5 ANATOMIA ECOLÓGICA DE MADEIRA

A anatomia de madeira tem sido um estudo bastante eficaz em situações de identificação de importantes produtos industriais e também desejáveis para distinção entre espécies, principalmente às de grande valor comercial (MILLER & CAHOW, 1989). A relação entre estrutura da madeira e fatores climáticos tem sido reconhecida entre os anatomistas de plantas, e nas últimas décadas vem sendo confirmada por vários autores (CARLQUIST, 1961; CARLQUIST, 1966; BAAS, 1982; BAAS; WERKER; FAHN, 1983; ZIMMERMANN, 1983; CARLQUIST e HOEKMAN, 1985; BARAJAS-MORALES, 1985; RURY, 1985; CARLQUIST, 1988; LINDORF, 1994). Na maioria dos casos uma ênfase especial tem sido dada à análise dos efeitos de alguns parâmetros tais como disponibilidade hídrica, sazonalidade, temperatura, altitude e distribuição geográfica, sobre algumas características anatômicas da madeira, como por exemplo o diâmetro dos vasos, comprimento dos vasos, frequência dos vasos.mm², tamanho das pontuações dos vasos, tipo de placa de perfuração, entre outras características.

Cabendo também à ciência da anatomia ecológica de madeira a tentativa de elucidar e explicar as modificações fenotípicas ocorridas na estrutura da madeira, como resposta para um ou mais fatores ecológicos variáveis. Sendo que, muitos

desses estudos são relacionados à pesquisa em silvicultura, sobre o impacto do ambiente, manipulação e manejo sobre o crescimento radial, qualidade da madeira e em estudos de respostas cambiais para uma variedade de fatores ambientais, especialmente climáticos.

Segundo BAAS & MILLER (1985) a anatomia ecológica de madeira, em anos recentes, guarda uma certa analogia com 'anatomia ecofilética de madeira', termo utilizado por RURY (1985) baseado nas correlações entre fatores ambientais e certos atributos da anatomia da madeira, que os cientistas tem como hipóteses serem estratégias adaptativas no curso da evolução.

Para CARLQUIST, (1988) as características de anatomia de madeira deveriam obedecer aos mesmos princípios Neo-Darwinistas aceitos universalmente como operável na evolução de organismos e nas características morfológicas e fisiológicas deles/delas, que são completamente suficientes para explicar os padrões observados por ele, como a diminuição do diâmetro do vaso e o aumento da frequência dos mesmos com a seca crescente ou temperatura decrescente, tendências essas explicadas em termos de aumentar a segurança da condução da água em ambientes xéricos para secos.

Entretanto BAAS, em 1982 tenha considerado que nas discussões de seções prévias em anatomia de madeira sistemática, filogenética e ecológica (incluindo a funcional), as referências se interpenetram, não podendo ser evitado, pela simples razão que elas são aspectos inseparáveis do estudo de evolução da madeira; e acrescenta que muito embora a anatomia ecológica de madeira possa fornecer respostas para alguns aspectos adaptáveis de evolução de madeira, pode negligenciar em outros aspectos, que não são necessariamente baseadas na acumulação gradual de mudanças adaptáveis Neo-Darwinísticas.

Na opinião de BAAS & MILLER (1985), os complexos mecanismos de interação entre genótipo e fatores externos na regulação e modificação da atividade cambial e a morfogênese das células do xilema são o ponto crucial da anatomia ecológica e funcional de madeira.

Algumas famílias e gêneros são relativamente homogêneos nas características anatômicas de suas madeiras, principalmente quando são consideradas famílias pequenas, como no caso de Betulaceae, Hamamelidaceae, Magnoliaceae, enquanto que outras são heterogêneas, como a exemplo da família Euphorbiaceae, que há diferenças entre os próprios gêneros equivalentes às diferenças entre famílias distintas (WHEELER & BAAS, 1998).

2.5.1 Elementos de vasos

Acredita-se que o sistema vascular das angiospermas por apresentar vasos que lembram longos tubos, foi formado de segmentos originados de células equivalentes a simples traqueídes, possuindo pontuações do tipo escalariformes nas laterais e nas porções finais da parede, e que estas possam ter sido as ancestrais dos elementos de vaso das angiospermas (CARLQUIST, 1961, 1988; BELL, 1992) sendo então consideradas características relacionadas ao estágio evolutivo do vegetal, ao mesmo tempo em que, adaptações deste às condições ambientais (BURGER & RICHTER, 1991). Durante a diferenciação dos elementos de vasos, a parede do final de cada segmento é dissolvida ou reabsorvida formando a placa de perfuração, região de junção e comunicação entre um segmento e outro, sendo que, a dissolução da parede terminal pode ser total, dando origem à placa de perfuração simples, ou parcial, constituindo as placas de perfuração foraminada, reticulada, escalariformes, mista e radiada (COSTA *et al.*, 2003).

Baseada na discussão entre eficiência versus segurança no sistema hidráulico da planta, a largura e o comprimento dos elementos de vasos são parâmetros que influenciam na condução da água. Vasos curtos e diâmetro pequeno são mais seguros para conduzi-la, enquanto que vasos largos e longos são mais eficientes, diminuindo a resistência para a fluidez da água (ZIMMERMANN, 1982).

A exemplo de árvores como *Quercus* (ZIMMERMANN, 1982) que possuem vasos largos com diâmetro cerca de 300 μm , dispostos em anel, são bastante

vulneráveis, podendo ser perdidos do sistema de condução durante o curso do inverno. Para depois na primavera produzir um novo jogo de vasos antes que as novas folhas se desenrolem. Já, vasos em anéis tardios de crescimento tendem a ser estreitos e mais longos do que em anéis primaveris; entretanto, o aumento no comprimento dos vasos não é proporcional à diminuição em diâmetro (CARLQUIST, 1988).

Segundo os resultados de HELINSKA-RACZKOWSKA (1994), ao analisar *Quercus petraea*, com o aumento da idade dos anéis de crescimento, o diâmetro do lúmen dos vasos primaveris e tardios, bem como o número de vasos tardios por unidade de área aumenta, enquanto que o número de vasos primaveril por unidade de área diminui.

ZIMMERMANN & POTTER (1982), observaram a distribuição do comprimento de vasos nos ramos, caule e raiz de *Acer rubrum* L., constatando que, a maior porcentagem é a de vasos curtos em relação a vasos longos, considerando toda a extensão da árvore. Também que, o aumento do diâmetro do comprimento dos vasos, se deu ao longo da base dos ramos para as extremidades.

As presenças de vasos radiais e de células perfuradas de raio foram descritas primeiramente por VAN VLIET (1976), encontradas em dois gêneros: *Quisqualis* e *Combretum*, pertencentes à família Combretaceae; revelou-se também a presença de células perfuradas de raio, em espécies pertencentes à família Annonaceae do Sul do Brasil, pesquisadas por BOTOSSO & GOMES, (1982) em que foram encontrados além de células perfuradas de raio, também vasos radiais fazendo uma perfeita conexão com os vasos axiais, e posteriormente a verificação de vasos radiais em dupla conexão em *Annona glabra* L. (BOTOSSO, 1985).

Células perfuradas de raio em madeiras da Índia, foram observadas em três espécies da família Loganiaceae e em quatro espécies da família Myrsinaceae (DAYAL; RAO; SHARMA, 1984), em *Bathysa meridionalis* Rubiaceae (CECCANTINI & ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000), e em *Picramnia parvifolia* Picramniaceae (IWASAKI, 2001).

Observadas 22 famílias de árvores brasileiras nas regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul (ALVES & ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000) sendo que para tal, foi considerado determinados parâmetros ambientais como: tipo de clima, temperatura, umidade, altitude e os tipos vegetacionais presentes, bem como as tendências ecológicas presentes na madeira para os seguintes parâmetros anatômicos: anéis de crescimento, arranjo dos vasos, agrupamento dos vasos, placas de perfuração. Sendo que, as autoras concluíram que em regiões tropicais, claramente definidas por estações secas e úmidas, a dormência do câmbio de espécies decíduas ocorre junto com uma interrupção do crescimento apical e a queda das folhas, resultando na formação de anéis de crescimento bem evidenciados. Vasos têm tendência a se agrupar em ambientes secos, considerando que eles são mais freqüentemente solitários e só raramente se agrupam em ambientes úmidos. Em latitudes mais altas e ambientes com quatro estações bem definidas além da presença dos anéis de crescimento, os vasos tendem freqüentemente a ser encontrados em múltiplos ou com algum tipo de arranjo especial que diverge da porosidade difusa; constataram também que os parâmetros anatômicos como placa de perfuração múltipla e espessamento helicoidal presente nas paredes de vasos foram mais freqüentes em altas latitudes.

2.5.2 As fibras

Segundo BURGER & RICHTER (1981), as fibras são células características das angiospermas, constituindo geralmente a maior porcentagem de seu lenho (variando entre 20-80%), no qual desempenham a função de sustentação. O aumento de seu comprimento em função da idade, é resultado do aumento do comprimento das células que as originam, denominadas de células iniciais fusiformes. Sendo que, a sua estabilização irá ocorrer quando as células do câmbio atingirem o comprimento máximo, iniciando a formação da madeira adulta (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

A variação do comprimento de fibras em caules e ramos de árvores, foi estudada em madeiras duras crescidas em Kerala na Índia, por BHAT; BHAT; DHAMODARAN (1989), os quais observaram que o comprimento das fibras apresentou um aumento linear nos ramos, do centro para a casca, indicando um crescimento juvenil; já na direção axial a média do comprimento das fibras decresceu da base do caule ou ramo em 50%, em relação à outra extremidade mais jovem. Resultados compatíveis aos já mencionados anteriormente, foram encontrados por PARAMESWARAN & CONRAD (1982) em *Balanites aegyptiaca* (L.), ao constatarem que houve um gradual aumento no comprimento das fibras, da região medular para a casca.

TRUGILHO; LIMA; MENDES (1996), observaram a variação do comprimento e diâmetro das fibras de *Eucalyptus saligna* aos 12, 24, 36 e 48 meses de idade.

Pesquisa efetuada envolvendo os seguintes gêneros da família Euphorbiaceae: *Alchornea sidifolia*, *Alchornea triplinervia*, *Croton floribundus*, *Sapium glandulatum*, e *Sebastiania serrata* por (DIAS-LEME & ANGYALOSSY-ALFONSO, 1998) relata a presença de cavidades que ocorrem tanto no meio, como também no final da parede das fibras. Constatou-se em material macerado que as cavidades não fazem nenhuma comunicação com outras células, representando um espaço limitado por uma parede secundária que estava sendo ocupado pela célula-obstáculo; isso ocorre devido ao crescimento intrusivo das fibras, porém quando deparadas com um obstáculo, como por exemplo às células do raio, elas se bifurcam formando uma forquilha em torno dessas células. Com isso DIAS-LEME & ANGYALOSSY-ALFONSO (1998) sugerem o termo 'cavidade intrusiva' para explicar o fenômeno ocorrido e não concordam que essas cavidades tenham alguma analogia com as 'placas de perfuração simples' assim denominadas no trabalho de (ZHONG *et al.*, 1992) quando pesquisando algumas espécies da família Ulmaceae, encontraram cavidades similares às anteriormente mencionadas.

2.5.3 O estresse

Muitas plantas lenhosas estão sujeitas à influência de diversas modalidades de estresses, tanto provocados por fatores bióticos quanto por abióticos. Variam desde extremos de intensidades de luz, de temperatura, fogo, ambientes xerofítico, inundado, poluição antrópica ou natural, ação do vento, baixa fertilidade do solo; e aqueles que incluem a própria competição entre as plantas, ataques por insetos ou outros patógenos 'víruses, bactérias, protozoários, helmintos, artrópodes' (FOSKET, 1994; TIVY, 1995; KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997), ação dos herbívoros (CASTRO & MACHADO, 2003) e do manejo inadequado de algumas atividades humanas.

Acredita-se que o estresse ambiental não altere diretamente o crescimento das árvores porém, influencie bastante no equilíbrio das taxas e balanços dos processos fisiológicos, tais como fotossíntese, assimilação do alimento em novas células, formações de paredes celulares, respiração, síntese de hormônios, absorção de água e sais minerais e outros processos físico-químicos necessários ao metabolismo vegetal (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997).

Certamente os problemas atuais concernentes à poluição do ambiente estimularão esses estudos de anatomia ecológica de madeira, porque podem prover respostas às diversas perguntas que são feitas diante do complexo mecanismo de interações entre genótipo e fatores externos.

2.5.3.1 A presença das máculas

As máculas medulares, são faixas de células de parênquima, irregulares em orientação e tamanho, encontradas em diversas madeiras. Representa uma condição traumática na qual o câmbio esteve localmente ferido (afetado), gerando a formação de um calo, provavelmente pela proliferação de células de parênquima adjacentes ao dano. Assim que as divisões celulares normais do câmbio são restabelecidas, esta mácula fica completamente cercada e passa a ser incorporada

no tecido vegetal. Acredita-se que o frio, a seca, microrganismos e larvas possam ser os agentes desencadeadores das mesmas (CARLQUIST, 1988).

Alguns microrganismos associados às plantas, são razoavelmente inofensivos, não chegam a afetá-las em seu crescimento ou em qualquer outra via facilmente detectável. Bactérias como *Pseudomonas syringae* comumente ocorrem sobre a superfície de plantas, onde vivem como saprófitas, se alimentando de células mortas ou matéria orgânica em decomposição. Em situações em que há uma acentuada queda de temperatura, abaixo do ponto de congelamento da água, a bactéria se torna o núcleo de um cristal de gelo podendo proteger a planta. Evitando que a água congelada sobre a superfície e os espaços intracelulares das folhas possa causar-lhe prejuízos durante os períodos de geadas (FOSKET, 1994; LAMBERS; CHAPIN; PONS, 1998).

Pesquisas recentes demonstraram que a habilidade de *P. syringae* para formar o cristal de gelo é devido à presença de um gene, responsável pela síntese de uma proteína capaz de induzi-lo. Além disso, plantas colonizadas pela linhagem de 'ice-negative' *P. syringae* têm menos suscetibilidade a sofrer injúrias causadas pelas geadas do que aquelas pelo tipo 'ice-positive' *P. syringae* (FOSKET, 1994).

Apesar de muitos microrganismos não exercerem efeitos patogênicos nas plantas, algumas bactérias, fungos e nematódeos desencadeiam doenças específicas nas mesmas, causando prejuízos para o hospedeiro ao produzir toxinas que chegam a matar células ou muitas vezes a planta inteira. Nesses casos, são classificados como patógenos necrotróficos, a exemplo da degradação bacteriana de parede de traqueídes de *Pinus radiata* evidenciados por SINGH (1989). Como também a alterações nas propriedades das madeiras procedentes de regiões poluídas, devido à suscetibilidade ao ataque de fungos durante o armazenamento (FRÜHWALD, 1986). Enquanto que outros microrganismos patógenos biotróficos possuem a habilidade de evitar os mecanismos de defesa do hospedeiro (FOSKET, 1994), causando sintomas das doenças somente durante os estágios da infecção, como no caso de certos fungos e várias espécies de vírus, considerados parasitas

obrigatórios, por subverterem a função normal da maquinaria celular em benefício próprio.

A resistência das plantas, quanto às invasões, pode se dar através da formação de barreiras consideradas não específicas para determinado agente patogênico, como por exemplo o espessamento da cutícula sobre a superfície da epiderme.

Acredita-se que os laticíferos, característica marcante, presente na família Euphorbiaceae possa estar associado também a uma forma de resistência contra um dano ou injúria prévia, muito embora observado por RUDALL (1989) que máculas no xilema secundário de *Croton panamensis* eram destituídas completamente de laticíferos.

Outro mecanismo de proteção evidenciado é quando algumas plantas alteram a composição da parede da célula, no canal ou na via afetada pelo invasor, depositando lignina ou suberina para impedir o avanço do patógeno. A presença desse, pode elevar a taxa de atividade da enzima “phenylalanine ammonia lyase” (LAMB *et al.*, 1989) que representa o papel chave na síntese dos precursores e da própria lignina, como também de “fitoalexins” com função antibiótica (SALISBURY & ROSS, 1992; FOSKET, 1994; LAMBERS; CHAPIN; PONS, 1998).

Segundo SJÖSTRÖM (1993) apud TRUGILHO; LIMA; MENDES (1996), a lignina é um polímero de natureza aromática e tridimensional, com alto peso molecular, que tem como base estrutural, unidades de fenil-propano ligados a grupos metoxílicos e hidroxílicos, dependendo do tipo de madeira. E de acordo com BARRICHELO & BRITO (1985), a lignina encontra-se intimamente associada aos carboidratos da madeira, não só através de entrelaçamento físico, mas também, através de ligações químicas.

Muitas vezes o organismo patogênico pode induzir uma resposta de hipersensibilidade da planta, são casos em que a interação entre o patógeno avirulento e o hospedeiro resistente é incompatível, originando uma reação, onde células infectadas sintetizam compostos fenólicos que são letais para elas mesmas,

porém, impedem a entrada do agente invasor nas células vivas adjacentes. As estruturas envolvidas na secreção de compostos fenólicos são idioblastos e células epiteliais que envolvem cavidades ou ductos que secretam material de natureza mista observados tanto em folhas quanto em caules. Esses compostos fenólicos formam uma classe de compostos do metabolismo secundário, constituindo um grupo quimicamente heterogêneo que possui um grupo hidroxila ligado diretamente a um carbono de um anel benzênico (CASTRO & MACHADO, 2003).

Além da síntese de compostos fenólicos a planta pode em algumas situações produzir pequenas moléculas que tem a propriedade antibiótica, são as “fitoalexins”, embora também tóxicas para as próprias células agem como uma resposta de defesa quando acumuladas rapidamente e em alta concentração no local da infecção, causando a morte do patógeno (FOSKET, 1994; LAMBERS; CHAPIN; PONS, 1998).

2.5.3.2 As máculas contendo grânulos de amido

Para o crescimento, as plantas lenhosas necessitam do suprimento de carboidratos, bastante água para manter a turgescência das células em tecidos meristemáticos e seus derivados, nitrogênio, determinados elementos minerais essenciais e hormônios reguladores do crescimento que auxiliam nos processos fisiológicos. Em árvores adultas o transporte rápido dos compostos requeridos para o crescimento ocorre simultaneamente para cima e para baixo por distâncias maiores que 100 m (TAIZ & ZEIGER, 2004). Em regiões meristemáticas, os carboidratos que foram para lá transportados logo após o processo da fotossíntese podem ser convertidos em celulose, lignina, pectina, e lipídios na parede das células; e aminoácidos e amidos são incorporados em proteínas estruturais e enzimas de novos protoplastos. Uma pequena quantidade de lipídios é incorporada na membrana das células, ao passo que a maior quantidade é encontrada na formação da suberina, cutina e as camadas de cera que revestem as folhas, talos e frutos

(KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997).

Os ciclos anuais de carboidratos, ou seja a tendência anual do uso e armazenamento de carboidratos difere entre as espécies arbóreas devido às características que determinam o crescimento existente em seus genótipos, e variações das condições ambientais (MAUSETH, 1998).

Em muitas espécies de árvores de clima temperado, decíduas, uma grande parte da reserva de carboidratos de seus caules e ramos decresce rapidamente durante o início do verão alcançando um mínimo, para se intensificar logo após até atingir o cume no outono, entrando em declínio lentamente durante o inverno (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Em tempos de escassez, muitas células acumulam e estocam nutrientes extras, freqüentemente as reservas são de açúcares polimerizados em amiloplastos ou são convertidos em lipídios e estocados em forma de gotículas de óleo, como no caso do amendoim e semente de girassol (MAUSETH, 1998).

SHORTLE & BAUCH (1986), constataram que os conteúdos de açúcares solúveis aumentaram em madeiras doentes de *Abies alba*, enquanto que o conteúdo de amido sofreu uma drástica redução, isto comparados a árvores saudáveis.

2.5.4 Os Cristais

Depósitos cristalinos de forma e padrões diferenciados são encontrados nas células de diversas plantas. São mais comumente encontrados nas células parenquimáticas da medula, córtex e do raio (FAHN, 1990), visualizados também dentro de elementos de vasos de raízes aéreas de *Sonneratia caseolaris* (RAO; SHARMA; DAYAL, 1989).

A maioria tem a constituição de oxalato de cálcio mas, também, podem ser de carbonato de cálcio, ou corpos de sílica; quanto à origem, geralmente os cristais se constituem de depósitos de produtos de excreção dentro de vacúolos. Os cristais prismáticos podem ocorrer como prismas únicos ou gêmeos, tanto retangulares

quanto piramidais (CUTTER, 1986).

Os cristais podem ter valor taxonômico; o tamanho, quantidade e distribuição podem ser usados para a identificação e classificação anatômica da madeira (METCALFE & CHALK, 1950; IAWA Committee 1989); nesse sentido, RICHTER (1982), empregou essa característica para conduzir a uma identificação segura das madeiras *Couratari* distinguindo-a de *Couroupita*, caso contrário, suas características macroscópicas semelhantes, impossibilitariam essa investigação de forma precisa. PARAMESWARAN & RICHTER (1984), classificaram diversos gêneros da família Lecythidaceae quanto à presença de células cristalíferas no parênquima axial de suas madeiras. Segundo CUTTER (1986) e MAUSETH (1998), a localização das células que contém cristais dentro de uma planta, desperta interesses e merece futuras investigações, pois no momento, as causas que estão por trás disso não são totalmente conhecidas, sugerindo a existência de duas hipóteses para explicar o fenômeno. A primeira, postula que os cristais são consequência da redução de íons cálcio (Ca^{2+}) no citoplasma, quando em excesso, através da combinação desses íons com ácido oxálico.

A segunda, refere-se à possibilidade de que a presença de cristais nas plantas esteja associada à necessidade de proteção de tecidos que armazenam reservas de alimentos, contra ataques de insetos e de outros animais, hipótese essa, aceita por (CARLQUIST, 1988; MAUSETH, 1998). Nesse sentido, MUHAMMAD & MICKO (1984) ao investigarem a madeira de *Aspen* em decomposição, detectaram um acúmulo de cristais de cálcio, os quais, foram associadas à abundante presença dos fungos *Fomes igniarius*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta tese faz parte de um projeto maior de BONA e SANTOS (2003) desenvolvido na área da REPAR, (Figura 1), um ano após o derramamento de petróleo, onde foram delimitadas quatro áreas não contaminadas – 1NC, 2NC, 3NC, 4NC; seis áreas contaminadas – 1C, 2C, 3C, 4C, 5C, 6C; e uma área na qual estava sendo feita a biorremediação através da inoculação de microorganismos. Foram plantadas, 12 mudas de cada espécie, em diferentes parcelas, como segue: *Eugenia uniflora* L. Pitanga (1C, 1NC, B1), *Campomanesia xanthocarpa* Berg. Guabiroba (2C, 2NC, 3C, 3NC, B1), *Sebastiania commersoniana* Smith & Downs Branquilha (2C, 2NC, 3C, 3NC, B1), *Schinus terebinthifolius* RADDI Aroeira (1NC, 4C), *Podocarpus lamberti* Klotzsch. Pinheiro-bravo (4C, 4NC, B1), *Allophylus edulis* Vacum (4C, 4NC) e *Mimosa scabrella* Bracatinga (4NC, 6C).

O presente trabalho é resultado de dois experimentos um em campo (parcelas 2C, 2NC e B1) localizado na região centro-sul do primeiro planalto paranaense, no município de Araucária, localizado na REPAR, área pertencente à Refinaria Presidente Getúlio Vargas (Empresa de Petróleos Brasileiros, PETROBRAS), tendo como coordenadas geográficas aproximadas 25° 35' 12" S e 49° 20' 45" W (Figura 1), e outro em estufa no Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná (Figura 2). Os experimentos foram desenvolvidos com mudas de *Campomanesia xanthocarpa* Berg. Myrtaceae e *Sebastiania commersoniana* (Baill.) Smith & Downs Euphorbiaceae.

As mudas de *C. xanthocarpa* e de *S. commersoniana* utilizadas no experimento do campo, com 5 meses de idade, foram adquiridas no Horto Municipal de Curitiba-PR., e plantadas em campo em novembro de 2001; as mudas do experimento em estufa, foram adquiridas na Embrapa Floresta de Colombo, plantadas em março de 2002, com cerca de 5 meses de idade.

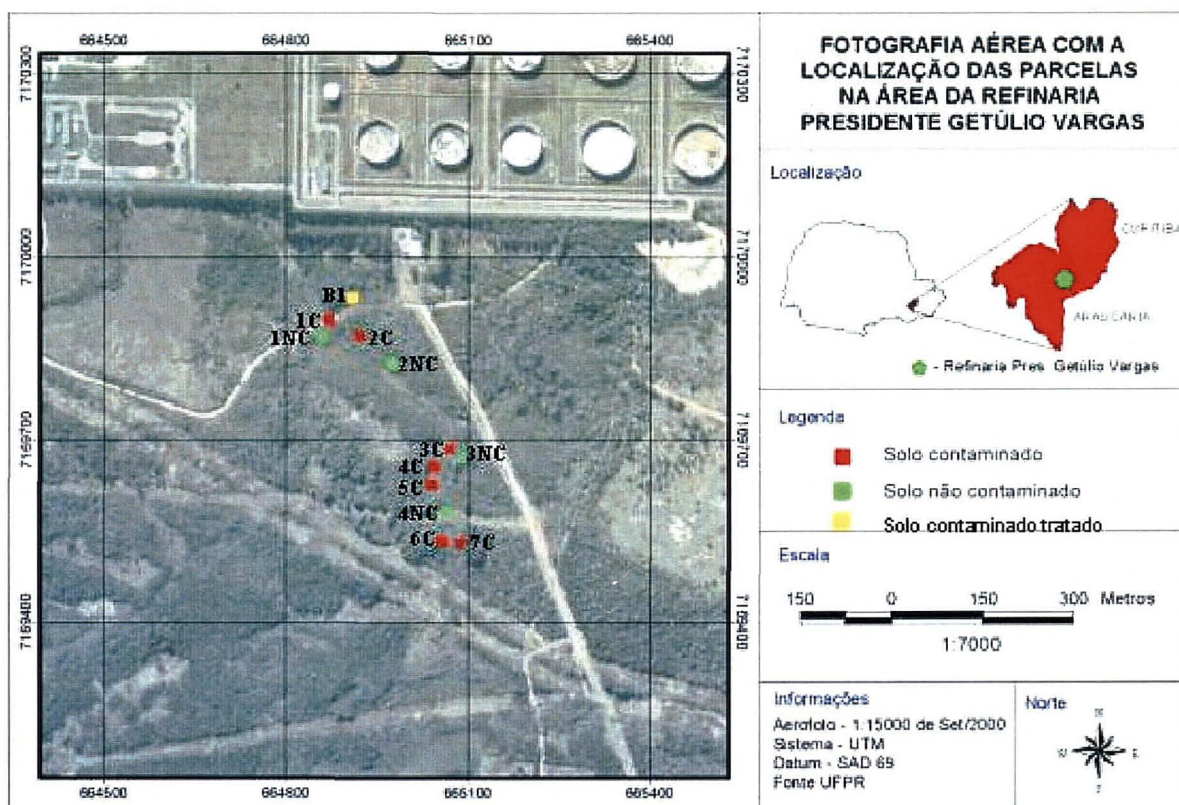


Figura 1 - Fotografia aérea da REPAR, onde ocorreu o derramamento de petróleo em 2000, mostrando a localização das parcelas onde foi conduzido o experimento de campo do projeto geral (BONA & SANTOS, 2003). As mudas que foram analisadas neste trabalho (*C. Xanthocarpa* e *S. Commersoniana*) foram plantadas nas parcelas 2C, 2NC e B1.



Figura 2 - Fotografia do local onde foi conduzido o experimento em estufa, no Campus do Centro Politécnico, Departamento de Botânica - UFPR.

Ambos os experimentos tiveram duração de, aproximadamente um ano, desde o plantio até a coleta das plantas, com exceção das plantas de *S. commersoniana* do experimento da estufa retiradas com aproximadamente 11 meses de permanência na estufa, devido à altura alcançada pelas plantas.

3.1 MONTAGEM DO EXPERIMENTO EM CAMPO

Para a montagem do experimento de campo (Figura 3) foram delimitadas duas áreas em solo contaminado por petróleo: correspondente ao tratamento 2C (área contaminada) e ao tratamento B1 (área contaminada e biorremediada) e a área controle em solo não contaminado (tratamento 2NC).

Segundo CASTRO (comunicação pessoal), o processo da biorremediação foi executado utilizando-se da seguinte metodologia: biorremediação em nível superficial (0 – 25cm) do solo onde foram feitas correções com Filler (calcário calcítico), logo após colocou-se uma concentração de um inoculo proveniente de áreas de biorremediação internas à refinaria (população microbiana apta à decomposição de hidrocarbonetos), na sequência utilizou-se o manejo de aiveca puxado por trator com enxada rotativa, para o adequado revolvimento do solo.

Devido às irregularidades encontradas no terreno cada uma dessas áreas possuía medidas próprias, a 2C com 37,5m² (Figura 3D), 2NC 64,6m², as quais foram demarcadas e cercadas com tela plástica, com exceção de B1 (uma ampla área não demarcada).

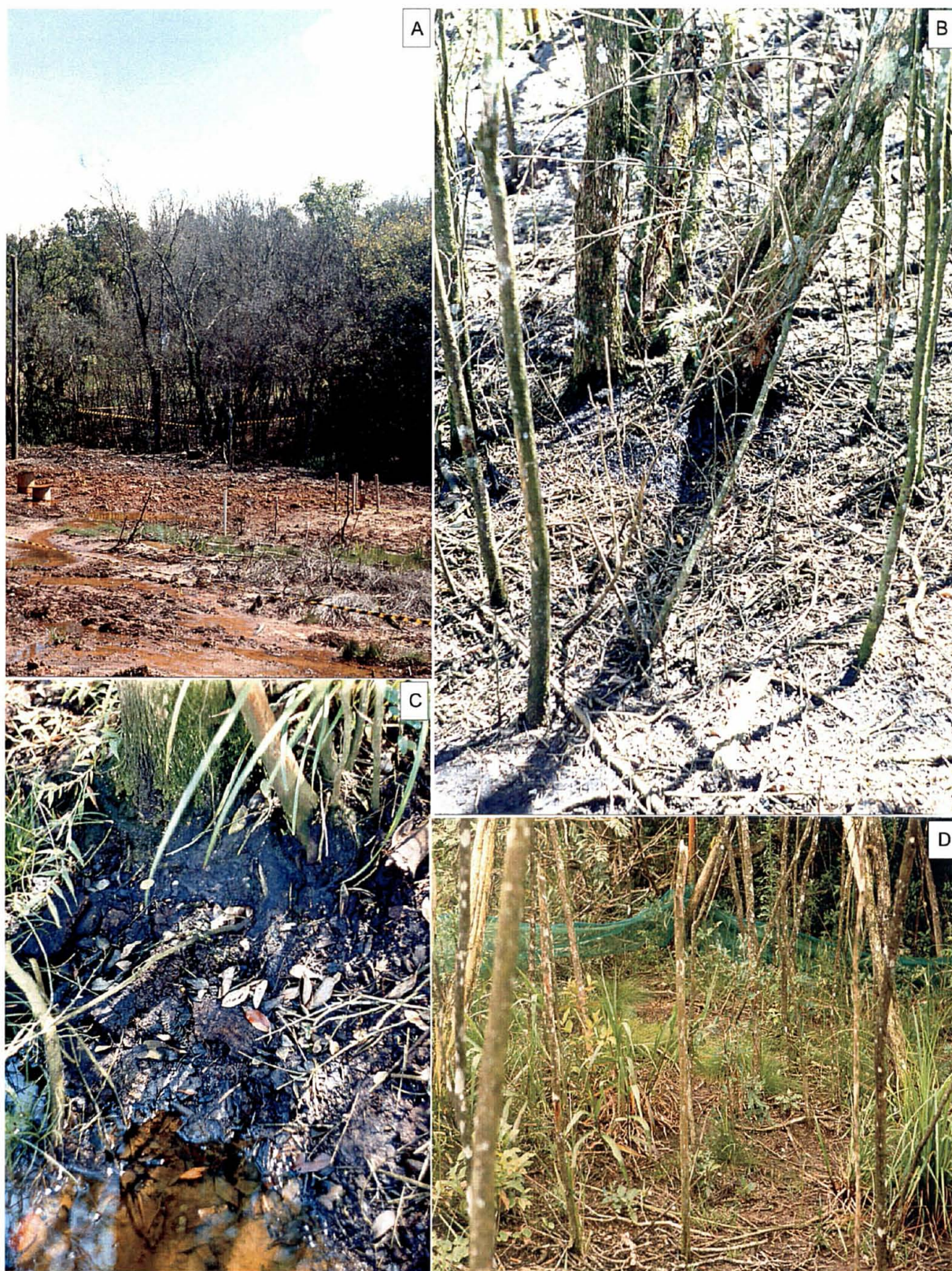


Figura 3. **A-** Vista de uma área contaminada, em 22/10/01. **B-** Detalhe mostrando os arbustos com os ramos secos. **C-** Detalhe mostrando o petróleo aderido ao solo. **D-** Área contaminada 2C, cercada por tela plástica, já com a presença de mudas de *Campomanesia xanthocarpa* e de *Sebastiania commersoniana*., em 02/12/02.

Foram plantadas, 12 mudas de *C. xanthocarpa* (Figuras 4A-D) e 12 mudas de *S. commersoniana* (Figuras 5A-E) em cada tratamento de maneira aleatória. E cada muda foi identificada com um código, nas áreas 2C, 2NC e B1 (Figuras 5C, 5D, 5E respectivamente).

Segundo SOUZA *et al.* (2001), as áreas 2C e 2NC encontram-se em solo classificado como: Complexo Neossolo Flúvico Ta Eutrófico mesoeutrófico A moderado textura média fase relevo plano raso vegetação floresta subtropical higrófila de várzea e campo subtropical higrófilo de várzea moderadamente a bem drenado – Gleissolo Háptico Ta Eutrófico Típico mesoeutrófico A proeminente textura argilosa fase relevo plano vegetação floresta subtropical higrófila de várzea mal drenado. Muito embora, a área 2NC estivesse em local mais sombreado (Figura 5D).

O solo da área biorremediada B1 foi classificado como: Associação de Cambissolo Háptico Ta Eutrófico e Distrófico gleico mesodistrófico A moderado e A proeminente textura argilosa fase relevo plano pouco profundo vegetação floresta subtropical higrófila de várzea substrato sedimentos argilo-siltico-arenoso do Holoceno moderadamente a bem drenado + Gleissolo Háptico Ta Eutrófico Típico mesoeutrófico fortemente ácido A proeminente textura argilosa fase relevo plano vegetação floresta subtropical higrófila de várzea mal drenado (SOUZA *et al.*, 2001).

As características químicas médias da camada superficial dos solos (0-20cm) podem ser vistas na Tabela 6.

TABELA 6 – Análise química do solo: tratamentos 2C, 2NC, B1 (campo), para macronutrientes, micronutrientes, pH, alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC) e carbono orgânico C. org.

Solo	N	Al	K	Ca	Mg	CTC	Fe	Mn	Cu	Zn	pH	P	C.
		----	-----	cmolc	----	-----	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	CaCl2	mg/dm ³	org.
Campo	g/Kg	----	---	/dm ³	---	---							g/dm ³
2C	1,4	2	0,14	2,9	2,7	19,84	703	284	2,4	1,5	4,4	2,4	38,9
2NC	2,6	6,5	0,19	1,5	0,9	21,59	110,2	4	1,4	2,3	4,1	2	38,9
B1 A	1,2	0	0,22	16,8	2,2	22,92	9,7	74	0,2	1,6	6,4	1,9	29,3

Extração : 0,1 M HCl e para N digestão total segundo Kjeldhal. Tratamentos: 2C área contaminada, 2NC área não-contaminada, (B1 A) área biorremediada com superfície em elevação.

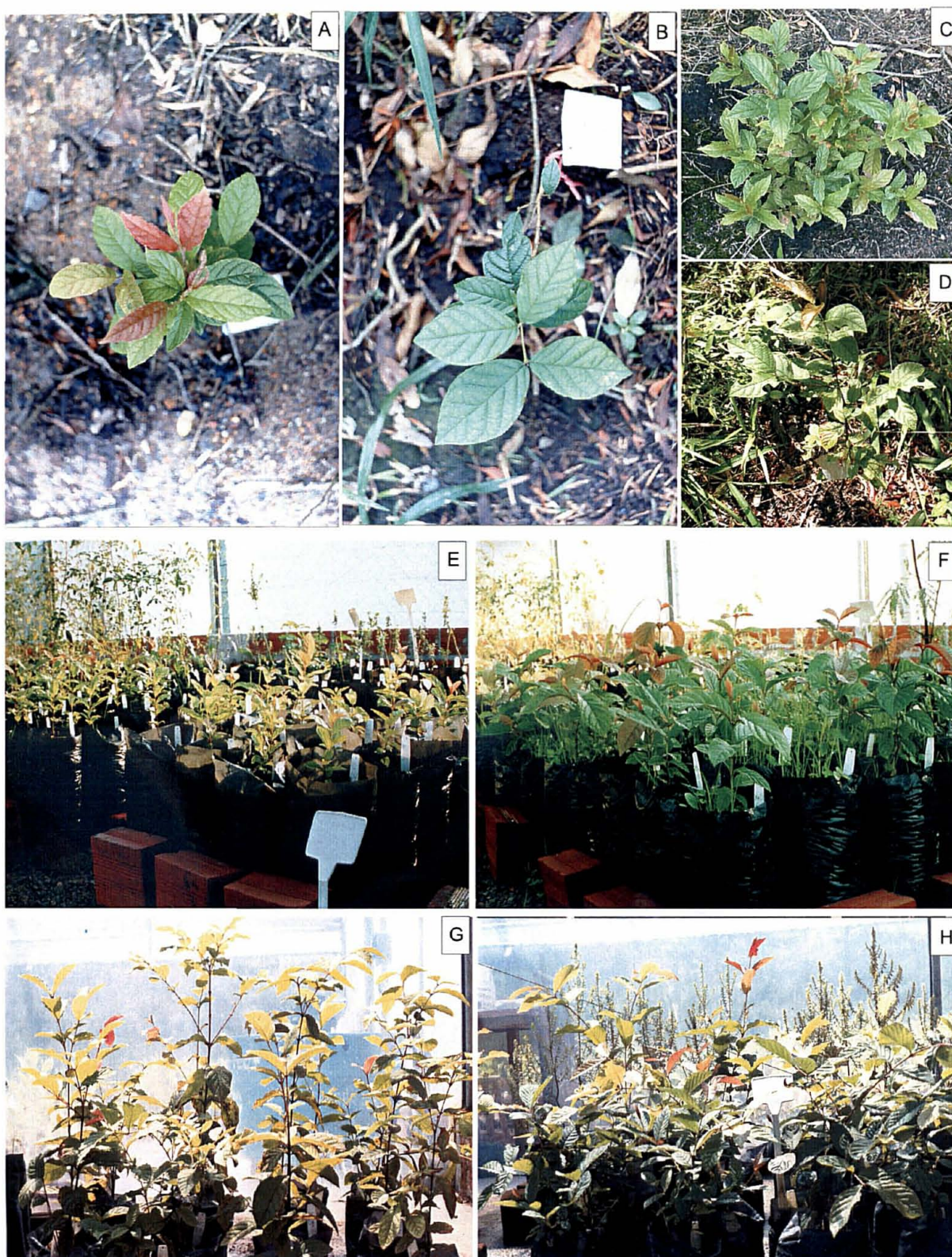


Figura 4. **A, B, C, D**- Áreas com mudas de *Campomanesia xanthocarpa* no campo; **A**- Planta no solo contaminado 2C em 10/12/01; **B**- Planta no solo não-contaminado 2NC em 10/12/01; **C**- Planta crescida (2C campo); **D**- Planta crescida (2NC campo); **E, F, G, H**- Mudanças de *Campomanesia xanthocarpa* no experimento de estufa; **E**- Mudanças com 5 meses de idade em solo contaminado, ausência de gramíneas e ervas daninhas; **F**- Mudanças com 5 meses de idade em solo não-contaminado, presença de gramíneas e ervas daninhas; **G**- Plantas crescidas em solo contaminado; **H**- Plantas crescidas em solo não-contaminado.



Figura 5. *Sebastiania commersoniana*; A, B, C, D, E- experimento do campo; F, G- experimento da estufa; A- Muda com 5 meses de idade em solo contaminado 2C; B- Muda com 5 meses de idade em solo não contaminado 2NC; C- Planta crescida em solo contaminado 2C; D- Planta crescida em solo não-contaminado 2NC; E- Planta crescida em solo biorremediado B1; F- Mudanças em solo contaminado, ausência de gramíneas e ervas daninhas; G- Mudanças em solo não-contaminado, presença de gramíneas e ervas daninhas.

3.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO EM ESTUFA

Para montagem desse experimento, o solo foi coletado na REPAR em áreas identificadas como contaminadas (4C + 5C) e não contaminadas numa área próxima a 5C (Figura 1). Esse solo foi transferido para a estufa (Figura 2), peneirado, homogeneizado e separado em quatro tratamentos, identificados da seguinte maneira: solo contaminado (C); solo contaminado adubado (CA); solo não contaminado (NC) e solo não contaminado adubado (NCA).

A adubação dos tratamentos CA e NCA foi baseada no resultado da análise de solo da (Tabela 7), sendo ministradas as seguintes doses: (0,416g) de cloreto de potássio, como fonte de potássio; (4,16g) de MAP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ na proporção 1:1), como fonte de fósforo, para cada 40 Kg de solo.

TABELA 7 - Análise química do solo antes da adubação: amostra contaminada, amostra não-contaminada, para macronutrientes, pH, alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC) e carbono orgânico (C. org.)

Amostra	Al	K	Ca	Mg	CTC	pH	P	C. org.
	-----	-----	cmol _c /dm ³	-----	-----	CaCl ₂	mg/dm ³	g/dm ³
Contaminado	2,40	0,25	5,80	4,70	23,85	4,50	2,1	30,5
Não contaminado	0,70	0,70	6,40	5,90	23,50	4,50	7,9	28,7

Após a adubação ter sido feita, foram encaminhadas amostras destes solos para análise de rotina no laboratório do Departamento de Solos da UFPR, (Tabela 8).

TABELA 8 - Análise química do solo, após a adubação: tratamentos C, NC, CA, NCA (estufa), para macronutrientes, micronutrientes, pH, alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC) e carbono orgânico (C. org.) .

Solo	N	Al	K	Ca	Mg	CTC	Fe	Mn	Cu	Zn	pH	P	C.
		-----	-----	cmol _c	-----	-----	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	CaCl ₂	mg/dm ³	org.
Estufa	g/Kg	-----	---	/dm ³	---	---							g/dm ³
C	3,2	1,2	0,28	6,8	5,6	23,18	184	253	3,1	30	4,5	6,5	38,3
NC	1,1	0	0,21	7,7	6,2	19,91	115,5	19,9	1,6	15,2	5,4	4,6	27,5
CA	2,9	2,9	0,32	7,2	4,8	25,42	197	221	3,1	23,2	4,4	7	34,1
NCA	1,3	0,4	0,33	8,5	5,9	22,53	212	83	2,1	5,4	4,9	10,1	22,0

Extração : 0,1 M HCl e para N digestão total segundo Kjeldhal. Tratamentos: C área contaminada, NC área não-contaminada, CA área contaminada adubada e NCA área não-contaminada adubada.

No momento do plantio, para cada tratamento foram efetuadas 8 repetições de mudas, sendo que, cada muda foi plantada em saco plástico de 5 litros. A estufa estava protegida por um sombrite 50%, e a temperatura foi monitorada diariamente, de onde foram extraídas médias para valores máximos e mínimos de temperatura (Anexo 1). A umidade foi controlada por um nebulizador intermitente programado para a duração de 15 segundos a cada 30 minutos das 7:00 às 19:00 horas durante os meses mais quentes, enquanto que nos meses mais frios 15 segundos a cada 2 horas.

O mesmo procedimento foi adotado tanto para *Campomanesia xanthocarpa* (Figuras 4E-H), quanto para *Sebastiania commersoniana* (Figuras 5F-G).

Embora não tenha feito parte dos experimentos à que se referem este trabalho, são apresentados aqui os dados de altura e diâmetro das mudas das duas espécies (Tabelas 9 e 10), pois serão utilizadas para a discussão dos resultados.

TABELA 9 - Resultado do experimento em campo, para altura (cm); peso seco total (g); razão entre parte aérea e superfície radicular (Pa/Sr); diâmetro do caule; AEF; clorofila a; clorofila b; clorofila total; razão entre clorofila a e clorofila b.

Variável	<i>S. commersoniana</i>			<i>C. xanthocarpa</i>		
	B1	2 C	2 NC	B1	2 C	2 NC
Altura do caule (cm)	40,21B	43,62B	25,25 A	24,1	23,50	14,40
Peso Seco						
Total (g)	49,83	63,51	12,85	21,00	24,03	5,69
Razão Pa/Sr	2,73	2,75	2,11	1,32	2,58	1,23
Diâmetro do caule (mm)	6,2	7,1	3,6	4,9	5,99	2,585
AEF	111,97	100,97	150,06	123,60	103,34	166,16
Clorofila a	78,9753	65,6838	143,7511	87,69	94,24	131,56
Clorofila b	39,3471	35,7904	65,7464	31,96	37,3	50,45
Clorofila Total	118,3223	101,4742	209,4975	119,65	131,54	182,01
Razão a/b	1,9585	1,7546	2,1821	2,74	2,52	2,6

Fonte: Resultados de *S. commersoniana* foram extraídos do Relatório Final da FUNPAR - PETROBRAS, (BONA & SANTOS, 2003); Resultados de *C. xanthocarpa* foram extraídos de MAYER (2004).

TABELA 10 – Resultado do experimento em estufa , para altura (cm); peso seco total (g); razão entre parte aérea e superfície radicular (Pa/Sr); diâmetro do caule; AEF; clorofila a; clorofila b; clorofila total; razão entre clorofila a e clorofila b .

Variável	<i>S. commersoniana</i>				<i>C. xanthocarpa</i>			
	C	CCA	NC	NCCA	C	CCA	NC	NCCA
Altura do caule (cm)	59,21A	85,47B	84,80B	94,29B	45,63A	40,33A	43,51A	51,89A
Peso Seco Total (g)	8,55A	14,52B	12,69AB	16,76B	22,91A	21,14A	17,60A	26,62A
Razão Pa/Sr	1,59	2,54	2,43	2,58	1,293A	1,216A	0,848A	1,117A
Diâmetro do caule (mm)	6,543B	6,17A	6,11A	6,83C	5,79A	6,075A	4,997A	6,460A
AEF	147,90	147,06	141,03	136,87	136,95	150,90	151,57	133,69
Clorofila a	134,566AB	155,167B	93,4908A	104,550AB	99,4A	77,99A	65,46A	41,54B
Clorofila b	52,2195A	54,3348 A	49,8067A	35,5847A	35,5A	27,27A	23,73A	14,79B
Clorofila total	186,786AB	209,5026B	143,2975A	140,1348A	134,9A	105,26A	89,19A	56,33B
Razão a/b	2,5769	2,8558	1,8771	2,9381	2,8A	2,85A	2,76A	2,81A

Fonte: Resultados de *S. commersoniana* foram extraídos do Relatório Final da FUNPAR - PETROBRAS, (BONA & SANTOS, 2003); Resultados de *C. xanthocarpa* foram extraídos de MAYER (2004).

3.3 PREPARAÇÃO DO MATERIAL BOTÂNICO

Todas as análises anatômicas foram feitas em lenho jovem (mudas com cerca de 1 ano e 5 meses de idade) de *Campomanesia xanthocarpa* e *Sebastiania commersoniana*. As amostras foram retiradas do último anel de crescimento do xilema, próximo ao câmbio. A descrição anatômica do lenho foi feita de acordo com as recomendações da IAWA Committee (1989); e Comissão de Estudos, CE: 11-01-07:001 ABNT.

3.3.1 Preparação das Amostras para Análise Anatômica

Para a análise anatômica de ambas as espécies estudadas, foram coletadas amostras de caule de seis indivíduos para cada tratamento. As amostras eram de aproximadamente 2cm de comprimento, na base do caule, próximo ao colo, as quais, foram acondicionadas em vidros, fixadas em FAA 70 (formol, ácido acético e álcool 70% na proporção 1:1:18) e conservadas em álcool 70% (JOHANSEN, 1940).

As amostras fixadas foram utilizadas para confeccionar lâminas semipermanentes e permanentes com secções transversais, longitudinais radiais e tangenciais e de material macerado.

Os cortes histológicos dos caules, para a montagem das lâminas semipermanentes, foram efetuados à mão livre com lâmina de barbear; clarificados em hipoclorito de sódio a 10%, corados com fucsina básica (0,0125% em solução aquosa) (BRITO e ALQUINI, 1996) e Azul de astra (1,0% em solução aquosa) (BUKATSCH, 1972). Logo após foram distendidos sobre a lâmina em gelatina glicerizada (KAISER, 1880 apud KRAUS e ARDUIN, 1997), a qual foi recoberta por lamínula e vedada com esmalte incolor (DOP e GAUTIE, 1928).

Para a confecção das lâminas permanentes, as amostras de caule de todos os tratamentos foram cozidas previamente por 2 horas em panela de pressão com água e 4 gotas de glicerina. Após o cozimento, as amostras foram infiltradas em uma solução de polietileno 1500 e água na proporção de (1:1) por 2 horas em frasco tampado na estufa a 60°C, logo após o frasco foi aberto para ocorrer à evaporação da água, sendo acrescentado mais polietileno à amostra permanecendo esta na estufa a 60° por 24 horas.

A inclusão das amostras foi feita em formas de papel de 2 cm de lado, com polietileno 1500 a 60°C e levadas à geladeira para solidificar. O seccionamento dos blocos foi feito em micrótomo de rotação Olympus Cut 4055, na espessura de 9 a 12 µm. Os cortes histológicos foram feitos um a um com o auxílio de fita durex invisível 3M especial (filme de polipropileno e adesivo acrílico) aderida ao bloco. As secções aderidas às fitas foram clarificadas com hipoclorito de sódio 10%, e distendidas em lâmina sobre adesivo (HAUPT, 1930 apud KRAUS e ARDUIN, 1997). As lâminas foram envolvidas com plástico, empilhadas e prensadas por 4 dias no mínimo.

Após esse período, as lâminas foram colocadas em xilol puro por 2 dias para retirada do filme plástico da fita durex, secadas por um dia em temperatura ambiente, e coradas com Fucsina básica (0,0125% em solução aquosa) e Azul de astra (1,0% em solução aquosa) (BRITO e ALQUINI, 1996), após secagem foram

montadas com Resina sintética Entellan® em lâmina e lamínula.

A obtenção do material de caule macerado, se deu através do método de FRANKLIN (1945) citado e modificado por KRAUS e ARDUIN, (1997), que consiste na dissociação do caule utilizando-se uma solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio 30%, na proporção de 1:1, em estufa a 60° C por 10-15 dias, em frasco hermeticamente fechado. Após a obtenção do material dissociado, esse foi lavado com água destilada por 4 vezes consecutivas, para a retirada do restante da solução de maceração (FRANKLIN, 1945 apud KRAUS e ARDUIN, 1997). As lavagens foram feitas em tubo de ensaio, sendo centrifugadas a cada troca para evitar perda do material.

As células foram coradas com Fucsina 0,5% em solução aquosa e/ou safranina 1%, e as lâminas montadas em gelatina glicerizada (KAISER, 1880 apud KRAUS e ARDUIN, 1997).

3.3.1.1 Variáveis Anatômicas Analisadas

Em material macerado foram analisados: o comprimento dos vasos (CV) (de placa a placa de perfuração); o comprimento dos apêndices (Apênd.), (medida, presença ou ausência dos mesmos); o comprimento das fibras (CF); o diâmetro das fibras (DF) e a espessura da parede das fibras (EPF).

Em secções transversais foi medido o diâmetro dos vasos (DV); e contados o número de vasos.mm⁻² (NV). Para a contagem do número de vasos, foram projetadas as imagens, em microscópio com câmara clara, sobre uma área correspondente a 1mm² onde os poros foram marcados e contados.

Cada variável foi medida 25 vezes em cada uma das 6 repetições de *C. xanthocarpa* nos tratamentos 2C, 2NC, B1 (experimento de campo); e nos tratamentos C, NC, CA, NCA (experimento em estufa). O mesmo procedimento foi utilizado para *S. commersoniana*.

Todas as mensurações foram feitas em microscópio da marca Olympus com

ocular micrometrada e os valores definidos em μm , medidas no último anel de crescimento, região próxima ao câmbio.

3.3.2 Preparação das Amostras para Análise Nutricional

Amostras compostas (duas a duas) de folhas e amostras compostas (duas a duas) de caules de ambas as espécies, dos dois experimentos, foram analisadas para a determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), micronutrientes (Fe, Mn, Zn) e Alumínio.

As amostras foram secas em estufa a 60°C até peso constante, sendo que, parte delas foi moída em moinho tipo Wiley no Departamento de Botânica da UFPR e o restante no moinho MR 340 (1984) na Embrapa Florestas no município de Colombo. O preparo e digestão das amostras foram realizados pelo método em mufla (via seca) a 500°C e solubilizados em ácido clorídrico (HCl) 3 mol L^{-1} , de acordo com HILDEBRAND *et al.* (1976/77). Após filtragem foram determinados os teores de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn.

O P foi determinado pelo método colorimétrico com vanadato-molibdato de amônio (cor amarela), em espectrofotômetro UV/VIS- 554 Perkin-Elmer. O N foi determinado pelo método de Kjeldahl. O Al foi analisado após digestão úmida, para cada 50 mg de material foi adicionado 1,25 ml de H_2SO_4 , com período de reação de 12 horas, sendo a seguir adicionado 0,5 ml de peróxido de hidrogênio, com fases de aquecimento de 1 hora a 200°C , por três vezes. Após, determinado através do comprimento de onda 309 em espectrofotômetro de absorção atômica 403 Perkin-Elmer. Os demais elementos em espectrofotômetro de absorção atômica 2380 Perkin-Elmer.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Solos da Embrapa Florestas, Colombo, PR, com exceção, para a leitura do alumínio, que foi executada no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da UFPR.

A comparação da análise química das folhas de *C. xanthocarpa*, e de *S.*

commersoniana foi feita somente nos tratamentos: contaminado (2C) e não contaminado (2NC), não tendo sido possível para a área contaminada e biorremediada (B1), por inviabilidade econômica.

3.3.3 Análise Química em Microscopia Eletrônica

As amostras para a análise química através de microscopia eletrônica, foram cortadas transversalmente dos caules representantes de todos os tratamentos, variando entre 2-4 mm de espessura, os quais foram fixados em suporte de alumínio com esmalte incolor misturado com grafite.

A metodologia para a micro-análise por dispersão de energia de raios-X (EDS) foi utilizada através do equipamento de marca Thermo Noran System Six, onde foram feitas análises químicas de secções de caule de aproximadamente 2mm de espessura, de ambas as espécies, em aparelho de microscopia eletrônica de varredura marca Jeol JSM-6360LV, para a investigação dos seguintes elementos: Carbono (C), Oxigênio (O), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), Silício (Si), Fósforo (P), Enxofre (S), Potássio (K), Cálcio (Ca), Ferro (Fe), Zinco (Zn), sendo que, os resultados desta análise estão expostos nos (Anexos 14, 15, 16), e não serão utilizados para a discussão neste trabalho, após terem sido observados valores altos, para alguns micronutrientes, os quais possam estar sugerindo contaminações das amostras.

As amostras que foram fotografadas pelo microscópio eletrônico de varredura foram cortadas transversalmente dos caules representantes de todos os tratamentos, variando entre 2-3 mm de espessura, os quais foram fixadas em suporte de alumínio com esmalte incolor misturado com grafite, levadas ao ponto crítico, para logo após sofrerem o processo de metalização.

3.3.4 Análise Qualitativa Microquímica da estrutura do lenho de *C. xanthocarpa* e *S. commersoniana*.

Foram feitos testes microquímicos para a visualização de amido, compostos fenólicos, lignina e substâncias lipídicas (cutina e suberina) no tecido vegetal. As lâminas foram montadas de forma semipermanentes, com cortes histológicos do lenho de ambas as espécies, feitos à mão livre, com lâmina de barbear. Após o seccionamento as amostras foram colocadas em vidro relógio com o reagente, lugol (BERLYN e MIKSCHE, 1976) para detecção de amido; cloreto férrico para compostos fenólicos (JOHANSEN, 1940); floroglucina 1% em álcool 95% para lignina; e sudan III (SASS, 1951) para substâncias lipídicas: cutina e suberina. Após, foram distendidos em lâmina sobre gelatina glicerinada e cobertos por lamínula (KAISER, 1880 apud KRAUS & ARDUIN, 1997).

3.4 Análise Estatística

Todos os dados obtidos de anatomia foram analisados através da utilização do *software* STATISTICA versão 5 para as análises estatísticas dos ensaios experimentais. A homogeneidade dos dados foi testada pelos testes K-S and Lilliefours e Shapiro-Wilk's W test, para posterior análise de variância. Feita a constatação de que os dados não apresentavam nenhuma discrepância e sobretudo uma distribuição próxima da curva normal; foi então confeccionada uma tabela para cada variável analisada, apresentando: a área pesquisada, o tipo de variável, o número de repetições, as médias, as medianas, a menor mensuração, a maior mensuração, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Após foi aplicada a técnica estatística de Análise de Variância (ANOVA) para verificar a significância das diferenças entre as médias para cada uma das variáveis e por tipo de experimento. Quando a diferença foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$) foi aplicado o teste de

Tukey para comparações múltiplas.

Para o incremento da análise estatística efetuada foi realizada a Análise Discriminante, facilitando a identificação do tratamento de cada amostra. Com base nesse modelo, tornou-se possível classificar e discriminar a origem de cada integrante da amostra.

Em relação aos dados químicos nutricionais, foram analisados como bloco casualizados, seguindo o mesmo procedimento mencionado anteriormente, porém, analisados com o auxílio do *software* da Microsoft Excel, com exceção da Análise Discriminante (que neste caso não foi efetuada).

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

4.1.1 Descrição qualitativa do lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa* Berg.

Essas características, correspondem aos lenhos das plantas que se desenvolveram nos tratamentos não contaminados. Para todas as variáveis seguiram-se as recomendações da IAWA Committee, (1989); e Comissão de Estudos CE: 11-01-07:001 ABNT.

Os elementos do lenho jovem de *C. xanthocarpa*, são representados conforme as (Figuras 6,7,8), sendo assim descritos: Poros invisíveis a olho nu, de seção ovalada a circular, em arranjo tangencial levemente em diagonal, pouco freqüente a numerosos (15-25-36 poros.mm⁻²); porosidade difusa, a maioria são solitários (Figuras 6A,B,C), raramente encontram-se poros geminados ou agrupados; ausência de obstrução por tilos.

Elementos vasculares, de curtos a médios (318 – 375 - 433 µm), com ou sem apêndices (0 – 85 – 160 µm) em uma extremidade ou em ambas (Figuras 6D,G,H). Diâmetro tangencial pequeno: 16-21-30 µm, (Figura 6B). Placa de perfuração simples, ver (Figura 8C).

As pontuações dos vasos são areoladas, alternas, arredondadas com ornamentação ou seja, pontuações guarnecidas (Figuras 8A,B); pontuações raio-vasculares simples, ovais a circulares (Figuras 6J,8H); pontuações parênquimo-vasculares simples, ovais a arredondadas.

Parênquima axial indistinto a olho nu, tipicamente apotraqueal, difuso em agregados, apresentando faixas irregulares unisseriadas (Figura 6C).

Os raios são indistintos a olho nu, classificado como heterogêneo ou heterocelular, compostos por células procumbentes, quadradas e eretas (Figuras

6F, 6I), predominância de multisseriados (bisseriados a tetrasseriados) e pouco freqüentes os unisseriados (Figuras 7A,B,C, 8F). Não foi detectada a presença de células perfuradas de raios.

Fibras libriformes, com pontoações simples a areoladas muito pequenas (Figuras 6E, 7D, 7F), não septadas, muito curtas a curtas (838 – 990 - 1125 μm), o diâmetro da fibra varia entre (11 – 13 - 16 μm); quanto à espessura da parede das fibras, são delgadas a espessas (3,3 - 3,6 - 3,9 μm) segundo as definições do IAWA Committee, 1989; CE: 11-01-07:001 ABNT, com diâmetro do lume de (5,8 - 6,6 - 7,6 μm). Foram também verificadas as presenças de fibras ramificadas formando cavidades de crescimento intrusivo (Figuras 6E, 6H), como em METCALFE & CHALK (1983); DIAS-LEME & ANGYALOSSY-ALFONSO (1998).

As camadas de crescimento, quando evidenciadas, estavam demarcadas por zonas fibrosas, caracterizadas por um maior espessamento e achatamento das paredes das fibras.

A espécie analisada não apresentou canais intercelulares axiais ou de origem traumática, nem células oleíferas. Entretanto constatou-se a presença de grande quantidade de inclusões minerais na forma de cristais prismáticos, de tamanho (6,7 - 8,4 - 10 μm), localizados no floema, entremeando alguns agrupamentos de fibras e células parenquimáticas do floema (Figuras 7D,E,F,8G).

Depósitos cristalinos de forma e padrões diferenciados são mais comumente encontrados nas células parenquimáticas da medula, córtex e do raio (FAHN, 1990), porém neste estudo, somente foram encontradas inclusões cristalíferas na região do floema. Segundo METCALFE & CHALK (1950); IAWA Committee (1989) a maioria dos cristais, tem a constituição de oxalato de cálcio mas, também, podem ser de carbonato de cálcio, ou corpos de sílica; e quanto à origem, geralmente constitui-se de depósitos de produtos de excreção dentro de vacúolos, podendo inclusive ter valor taxonômico; pois o tamanho, quantidade e distribuição podem ser usados para a identificação e classificação anatômica da madeira, com em RICHTER (1982); e em PARAMESWARAN & RICHTER (1984).

A localização das células que contém cristais desperta interesses e merece futuras investigações, pois no momento, as causas que estão por trás disso não são totalmente conhecidas. CUTTER (1986) e MAUSETH (1998) sugerem a existência de duas hipóteses para explicar o fenômeno. A primeira, postula que os cristais são consequência da redução de íons cálcio (Ca^{+2}) no citoplasma, quando em excesso, através da excreção de vacúolos, dando-se a combinação desses íons com ácido oxálico; a segunda hipótese, refere-se à possibilidade de que a presença de cristais nas plantas esteja associada à necessidade de proteção de tecidos que armazenam reservas de alimentos, contra ataques de insetos, fungos e de outros animais. Hipótese essa, aceita por METCALFE & CHALK (1983); CARLQUIST (1988); MAUSETH (1998).

BARAJAS-MORALES (1985) observou que a maior frequência de cristais precipitados, foi encontrada em plantas de ambientes secos da Floresta Decídua Tropical no México, quando comparadas às plantas de Los Tuxtlas de ambientes úmidos; GOURLAY & GRIME (1994), estudando espécies de *Acacia* Africanas, observaram que o número de bandas de cristais formado nos anéis de crescimento dessa espécie, correspondia ao número de picos anuais de chuvas daquela região. O que poderia levar a hipótese que correlacionaria a presença dos cristais às variações de disponibilidade hídrica para as plantas.

Máculas medulares, de tamanho reduzido, contendo grânulos de amido, foram encontradas em raríssimas amostras de *Campomanesia xanthocarpa*, na região do xilema secundário, comparadas às grandes máculas encontradas em *Sebastiania commersoniana*, no experimento do campo. As quais serão posteriormente visualizadas, através dos resultados qualitativos com reagentes específicos para amido, lignina, substâncias lipídicas e compostos fenólicos.

Os principais caracteres anatômicos do xilema secundário de *Campomanesia xanthocarpa* são comuns à família Myrtaceae e estão relacionados à evolução da espécie, como por exemplo, elementos vasculares curtos, placas de perfuração simples (CARLQUIST, 1961; CARLQUIST e HOEKMAN, 1985), parênquima axial

apotraqueal, raios heterogêneos e fibras libriformes (METCALFE & CHALK, 1950, 1983).

Há evidências de que a presença de pontoações areoladas dos elementos de vaso do tipo guarneçadas, também encontradas em *C. xanthocarpa*, possa estar associada a uma importante adaptação a ambientes sob estresse hídrico, pois à medida que as moléculas de água melhor aderem às paredes dos vasos, conseguem evitar embolismos (CARLQUIST, 1988). Essa constatação foi comprovada também por ALVES e ANGYALOSSY-ALFONSO (2000) quando perceberam uma forte relação entre as pontoações guarneçadas e ambientes secos, em algumas espécies brasileiras.

Muito embora, o ambiente de ocorrência natural dessa espécie, inclua áreas com solos hidromórficos ou semi hidromórficos, como foi constatado neste trabalho, com o solo classificado por SOUZA *et al.* (2001).

Os dados obtidos na descrição anatômica de *C. xanthocarpa* demonstraram predominância de raios multisseriados e, em menor frequência, raios localmente unisseriados, ambos do tipo heterogêneos ou heterocelulares formados de células procumbentes, quadradas e eretas; placa de perfuração simples, ausência de tilos nos poros, estando de acordo com a espécie *Campomanesia guazumaefolia* (Camb.) Berg. estudada por MARCHIORI (1998). Muito embora, seja importante lembrar que o referido autor analisou a madeira de *Campomanesia guazumaefolia* no estágio adulto, uma vez que, este estudo investigou o lenho jovem tanto de *Campomanesia xanthocarpa* quanto de *Sebastiania commersoniana*.

Na realidade poucas espécies de madeiras do Sul do Brasil pertencentes à família Myrtaceae foram investigadas sob o ponto de vista anatômico. Segundo MARCHIORI (1998), dentre as espécies descritas incluem-se *Blepharocalyx tweediei*, *Eugenia involucrata*, *Feijoa sellowiana*, *Myrceugenia myrtoides*, *Myrceugenia glaucescens*, *Myrciaria tenella*, sendo que a primeira foi descrita por SCHULTZ em 1953 apud MARCHIORI (1998), e as demais espécies por MARCHIORI, todas na década de 80. *Myrrhinium loranthoides*, também foi descrita

primeiramente por (SCHULTZ em 1953 apud MARCHIORI 1998) e posteriormente por MARCHIORI (1984); e também *Psidium cattleianum*, que foi estudada sob o ponto de vista ecológico por SOUSA (2000).

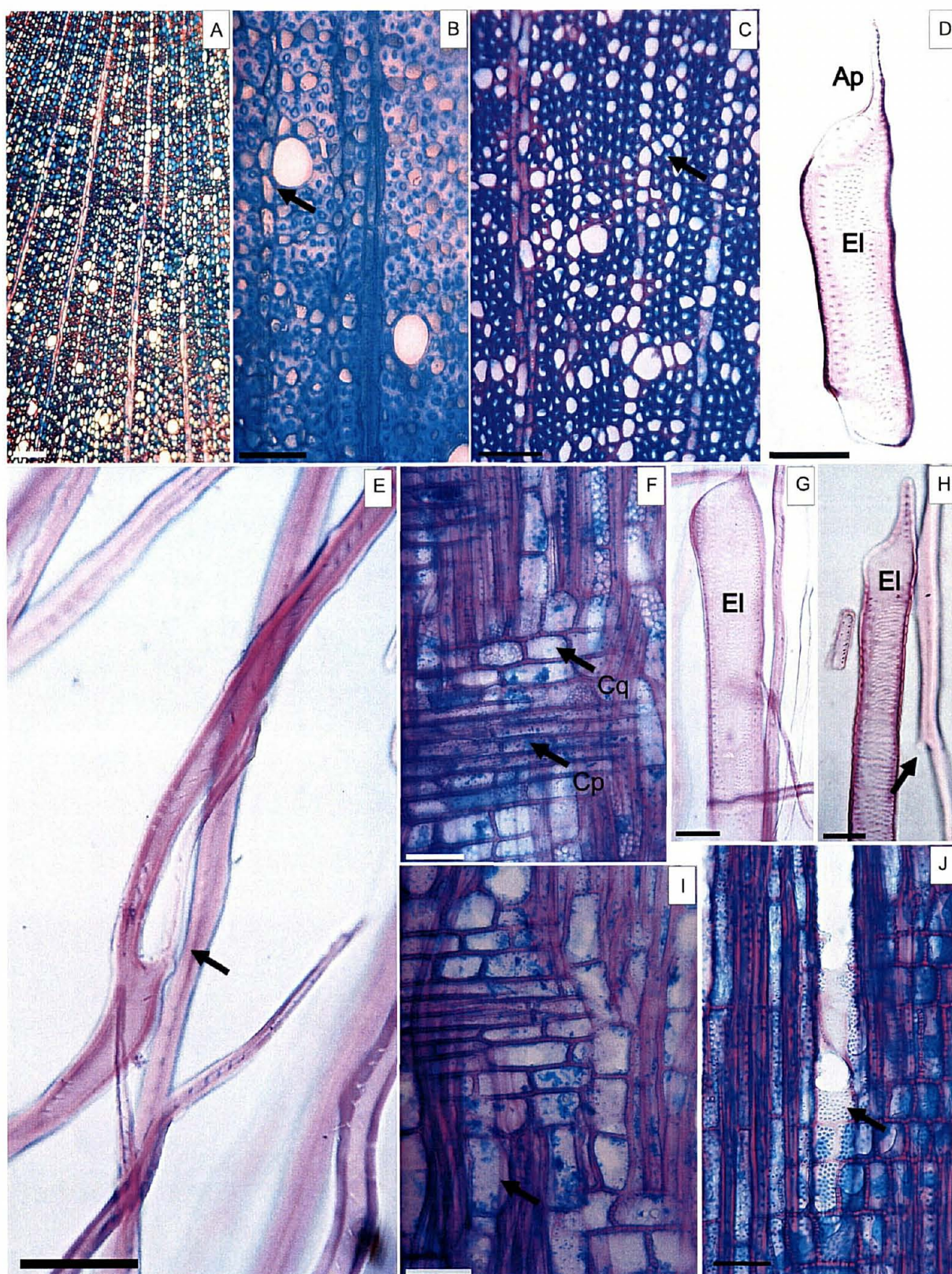


Figura 6. Lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa*; **A,B,C**- secções transversais; **D,E,G,H**- lenho dissociado; **F,I,J**- secções longitudinais radiais; **A**- aspecto geral do xilema. **B**- xilema mostrando encontro de raio com vaso (seta); **C**- xilema mostrando parênquima axial (seta); **D**- elemento de vaso (EI), e apêndice (Ap); **E**- Fibra crescimento intrusivo (seta). **F**- Raio, (Cq) células quadradas, (Cp) células procumbentes; **G**- elemento de vaso (EI) e fibras; **H**- elemento de vaso e fibra ramificada (seta); **I**- raio, células eretas (seta). **J**- pontoações raio-vasculares. Escalas: **A** = 100µm; **B,C,D,E,F,G,H,I,J** = 50µm. .

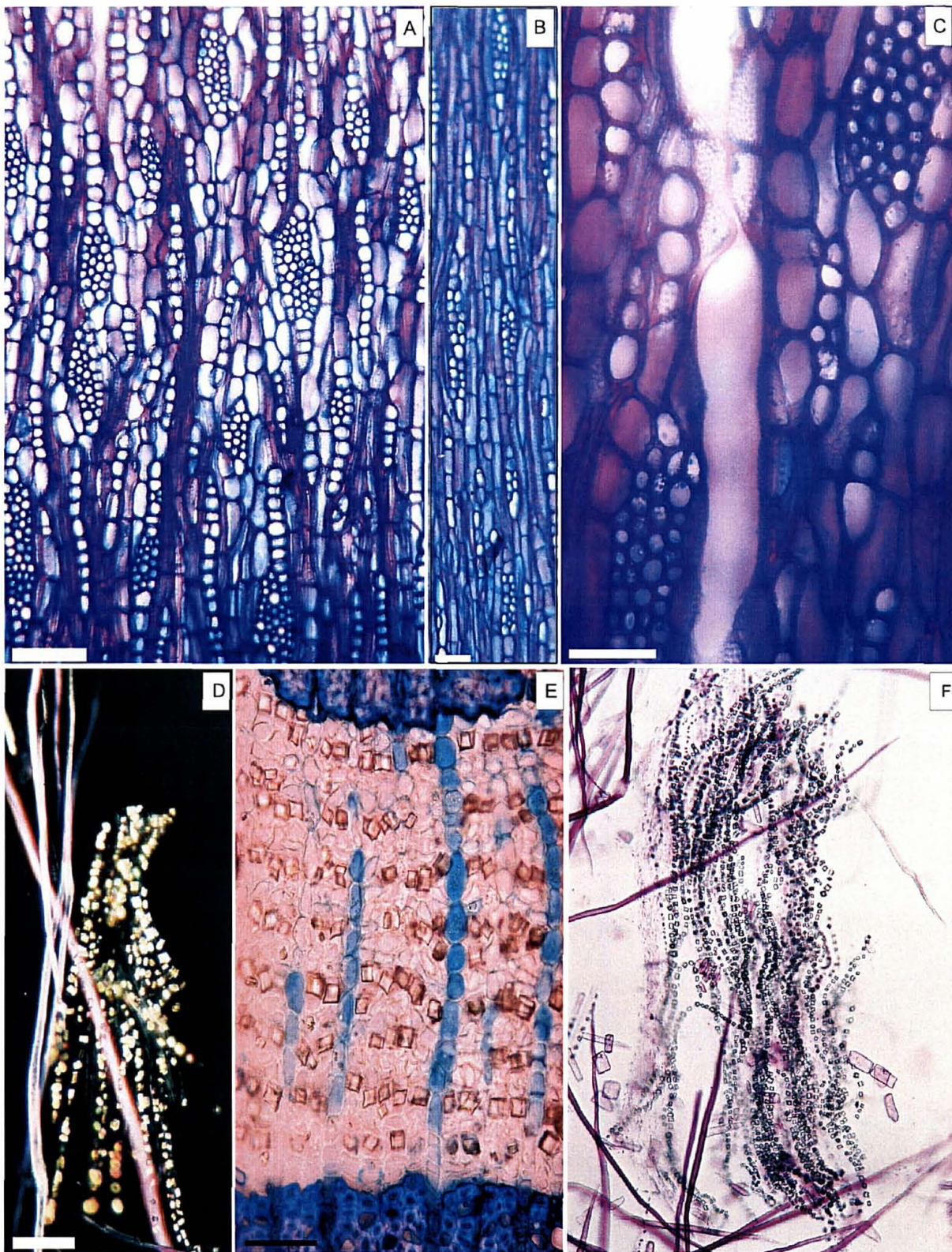


Figura 7. Lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa* (Guabioba); **A, B, C**-secções longitudinais tangenciais, mostrando raios multisseriados, e raios unisseriados; em **C**- detalhe do elemento de vaso; **D, F**- lenho dissociado, evidenciando cristais e fibras; em **D**- cristais de oxalato de cálcio sob luz polarizada; **E**- secção transversal, evidenciando cristais prismáticos presentes no floema. Escalas: **A, B, D, F** = 100µm e **C, E** = 50µm.

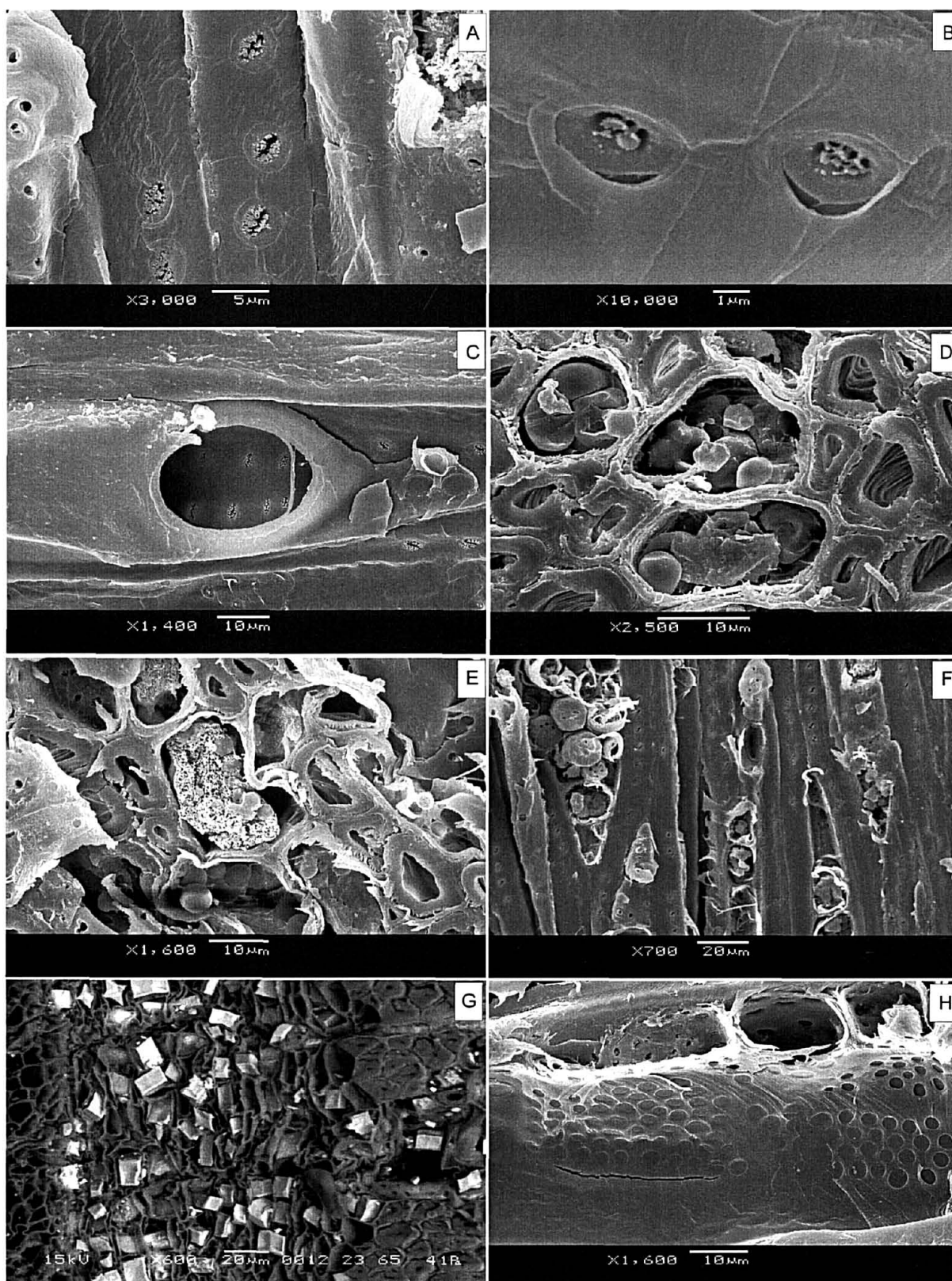


Figura 8. Microscopia eletrônica de varredura do lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa*; A, B, C, F, H - secções longitudinais tangenciais; D, E, G - secções transversais; A e B - elementos de vasos, demonstrando pontoações intervasculares ornamentadas; C- elementos de vaso, com placas de perfuração simples, ver detalhe das pontoações intervasculares ornamentadas na parede interna do elemento de vaso; D- células de parênquima axial com grânulos de amido, envoltas por fibras de paredes espessas; E- célula parênquimática com conteúdo não identificado, envolto por fibras com paredes espessadas; F- raios: multisseriados (tetraseriados) e unisseriados; G- Cristais prismáticos de oxalato de cálcio, presentes no floema de plantas do campo; H- detalhe do raio e das pontoações do elemento de vaso..

4.1.2 Descrição qualitativa do lenho jovem de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) Smith & Downs.

Essas características referem-se aos lenhos das plantas, que se desenvolveram nos tratamentos não contaminados. Para todas as variáveis seguiram-se as recomendações da IAWA Committee, (1989); CE: 11-01-07:001 ABNT.

Conforme as Figuras (9,10,11), sendo assim descritos: poros invisíveis a olho nu, de seção ovalada a circular; quanto à frequência: numerosos (21 - 29 - 37 poros.mm⁻²); porosidade difusa, o agrupamento dos vasos em sua grande maioria são múltiplos em arranjo radial (Figuras 9A,C), são mais raros os vasos solitários embora estejam presentes; ausência de obstrução por tilos.

Elementos vasculares, médios variando entre (511 - 670 - 703 μ m), com ou sem apêndices (0 - 80 - 160 μ m) em uma extremidade ou em ambas (Figura 9E). Diâmetro tangencial: pequenos variando entre (26 - 28 - 38 μ m), (Figura 9B). Placa de perfuração simples (Figuras 9E, 11C). As pontoações dos vasos são areoladas, alternas, arredondadas sem ornamentação (Figuras 11A,11B); pontoações raio-vasculares simples, ovais a circulares (Figura 9D); pontoações parênquimo-vasculares simples, ovais a arredondadas.

Parênquima axial indistinto a olho nu, tipicamente apotraqueal, difuso em agregado, às vezes, formando pequenas faixas tangenciais contíguas (Figura 9A).

Os raios se apresentam indistintos a olho nu, são considerados heterogêneos ou heterocelulares, compostos por células quadradas e eretas (Figuras 9D,9F,9H, 11E,F); predominância de unisseriados e raramente bisseriados localmente presentes (Figuras 10A,B,C). Foram encontradas células perfuradas de raio (Figura 9F).

Fibras libriformes, com pontoações simples a areoladas, não septadas, curtas, seu comprimento variando de (937 - 1116 - 1186 μ m), o diâmetro das fibras variavam entre (16,83 - 19,08 - 21,30 μ m); quanto à espessura da parede das

fibras, são delgadas a espessas (2,27 - 2,77 - 3,24 μm), segundo as definições do IAWA Committee, (1989); CE: 11-01-07:001 ABNT, com o diâmetro do lume variando entre (12,35 - 13,51 - 16,18 μm). Não foram encontradas fibras ramificadas em *S. commersoniana*.

As camadas de crescimento, quando evidenciadas, estavam demarcadas por zonas fibrosas mais espessadas. Não foram visualizadas células oleíferas. E quanto à presença de cristais, somente em poucas amostras.

Canais intercelulares provavelmente de origem traumática foram localizados em corte tangencial do lenho desta espécie (Figura 10E); como também a presença de máculas medulares contendo grânulos de amido em seu interior. As máculas foram visualizadas ocupando uma grande extensão do lenho, no sentido axial, observadas em secções tangencial e transversal (Figuras 10D, 11H).

Segundo CARLQUIST (1988), as máculas medulares podem representar, uma condição traumática na qual o câmbio esteve localmente ferido (afetado), gerando a formação de um calo, provavelmente pela proliferação de células de parênquima adjacentes ao dano. Assim que, as divisões celulares normais do câmbio são restabelecidas, esta mácula fica completamente cercada e passa a ser incorporada no tecido vegetal. Acredita-se que o frio, a seca, a poluição, os microorganismos e larvas podem ser agentes desencadeadores das mesmas. É possível que as alternativas, mencionadas anteriormente, estivessem interagindo no experimento do campo, uma vez que ficou comprovada que as plantas que se desenvolveram nesse experimento, sofreram um estresse maior, do que as plantas desenvolvidas no experimento da estufa, pois estas não desenvolveram máculas no xilema, com exceção de uma única amostra. Entretanto torna-se importante comentar que a presença de cristais no floema de *Sebastiania commersoniana*, foi muito menor do que em *Campomanesia xanthocarpa*, isto levando em consideração a segunda hipótese, anteriormente discutida, onde a presença dos cristais, estaria relacionada com a defesa contra os ataques de insetos, fungos e outros predadores.

Os principais caracteres anatômicos do xilema secundário de *Sebastiania*

commersoniana são comuns na família Euphorbiaceae, e estão relacionados com o grau evolutivo da espécie, como por exemplo, elementos vasculares curtos, placas de perfuração simples (CARLQUIST, 1961; CARLQUIST & HOEKMAN, 1985), parênquima axial apotraqueal, raios heterogêneos e fibras libriformes (METCALFE & CHALK, 1950, 1983).

Os dados obtidos na descrição anatômica de *S. commersoniana* demonstraram predominância de raios unisseriados e, em menor frequência, raios localmente bisseriados, ambos são heterogêneos ou heterocelulares compostos por células quadradas e eretas; placa de perfuração simples, e ausência de tilos nos poros.

As células perfuradas de raio observadas em *Sebastiania commersoniana* (Figura 9F), provavelmente sugeriram que a ocorrência desse fenômeno não seja tanto devido a traços característicos constantes na anatomia dessa espécie, pois não foram encontradas com tanta frequência, mas talvez, muito mais pelo caráter variável, como por exemplo à orientação inicial do câmbio e das células filhas, além de outras possíveis variáveis, como a necessidade de atender a um suprimento de água mais rápido e eficaz, diante da disponibilidade hídrica.

Células perfuradas de raio foram descritas primeiramente por VAN VLIET (1976), em Combretaceae; registradas em Annonaceae do Sul do Brasil, por BOTOSSO & GOMES (1982); a verificação de vasos radiais em dupla conexão em *Annona glabra* L. (BOTOSSO, 1985); em Loganiaceae e em Myrsinaceae (DAYAL; RAO; SHARMA, 1984); em Rubiaceae (CECCANTINI & ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000); em Picramniaceae (IWASAKI, 2001).

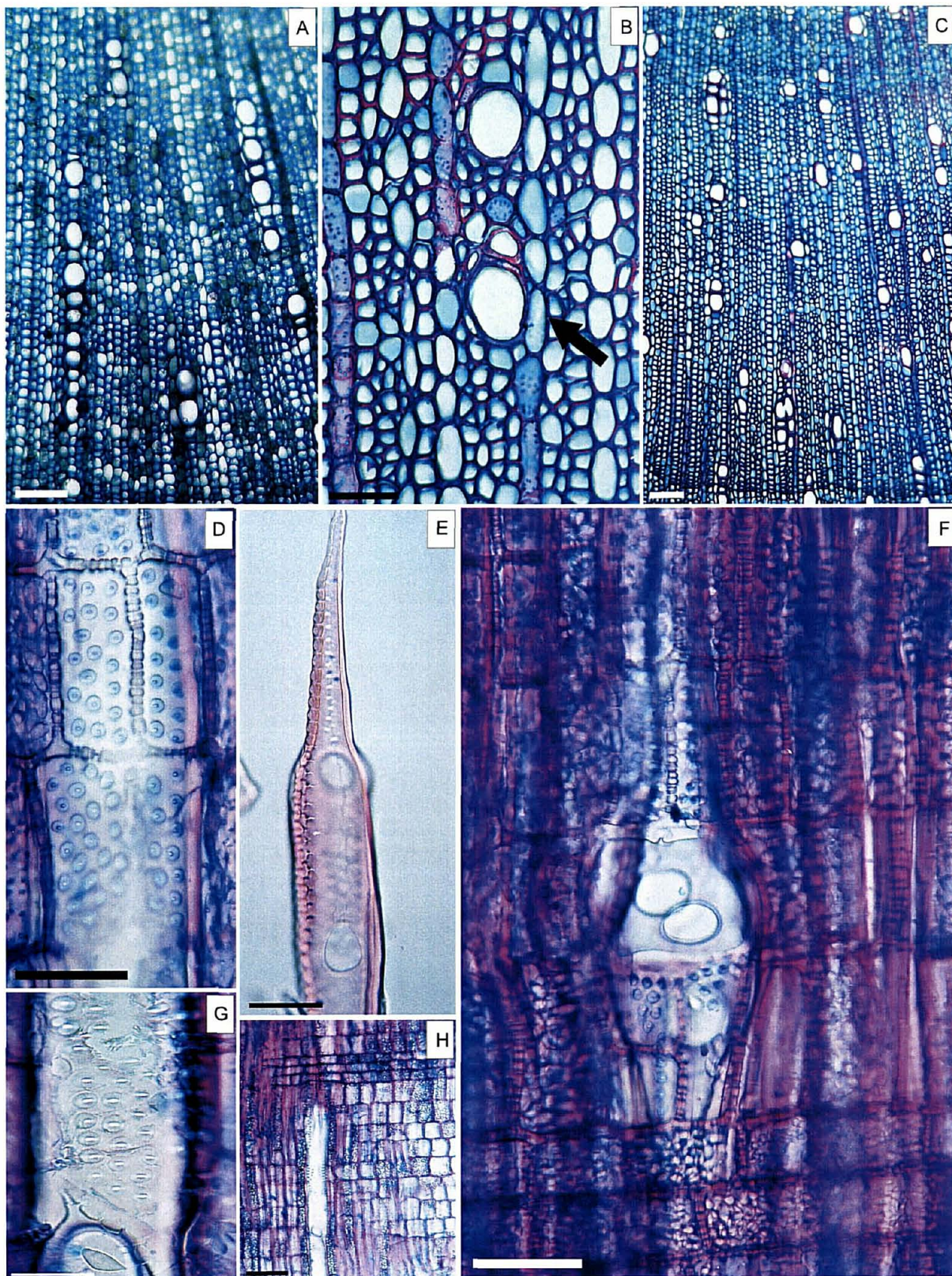


Figura 9. Lenho jovem de *Sebastiania commersoniana*; A, B, C- secções transversais; D, F, G, H- secções longitudinais radiais; E- lenho dissociado; A - aspecto geral do xilema evidenciando vasos múltiplos; B - seta, detalhe encontro, célula de raio com vaso; C - xilema apresentando menor quantidade de agrupamentos de vasos múltiplos; D - pontoações raio-vasculares areoladas; E - elemento do vaso, detalhe duas placas de perfuração simples; com apêndice na porção superior; F - detalhe, célula perfurada de raio; G - pontoações do vaso; H - aspecto geral do raio. Escalas: A, C, H=100µm; B, D, E, F=50µm; G=25µm.

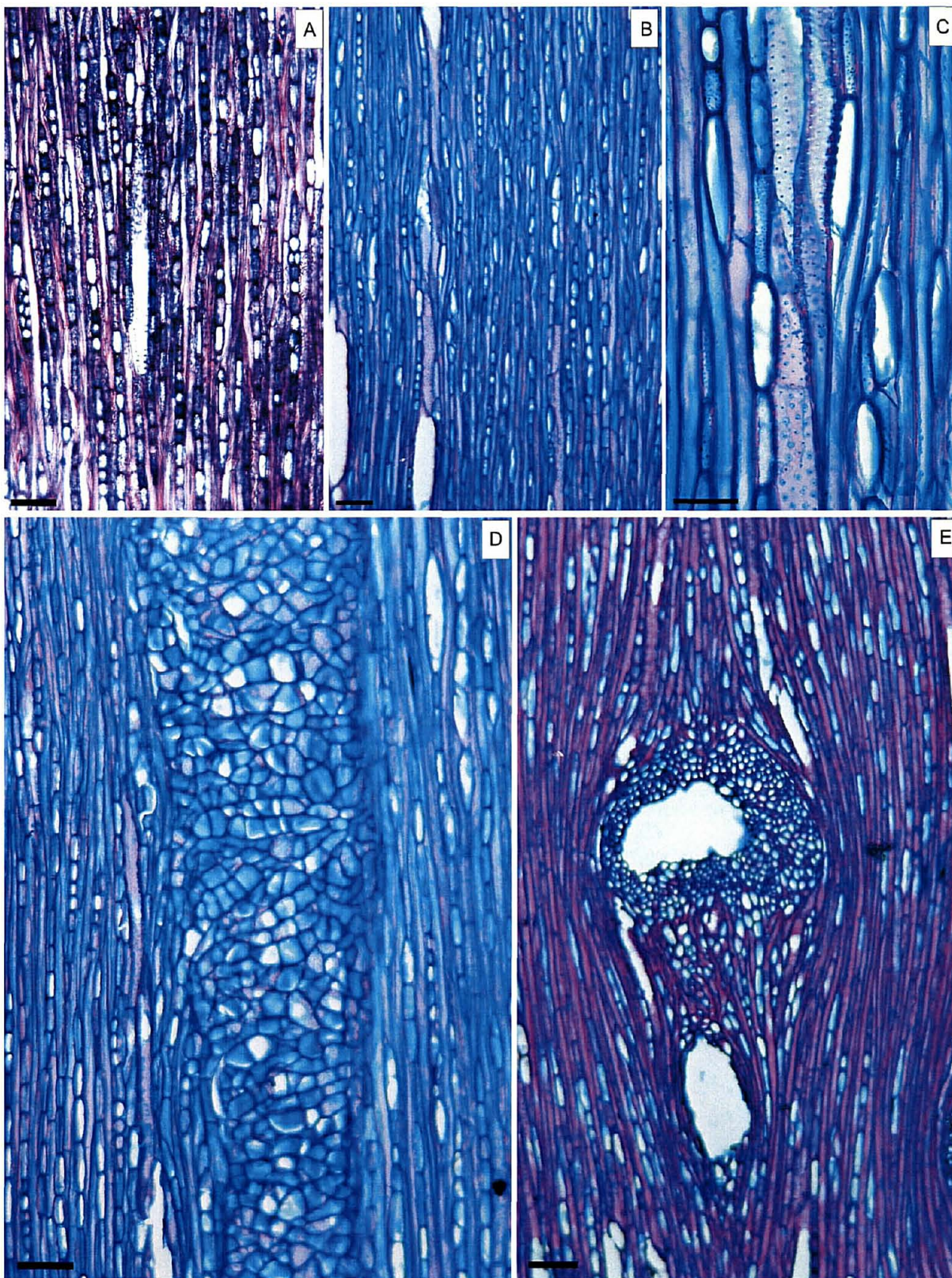


Figura 10. Lenho jovem de *Sebastiania commersoniana*; A, B, C, D, E- secções longitudinais tangenciais; A, B, C - aspecto geral do lenho evidenciando raios unisseriados; D - detalhe, mácula no centro da figura em toda a extensão axial; E - detalhe, a presença de canais intercelulares no lenho, em corte tangencial. Escalas: A, B, D, E=100µm; C=50µm.

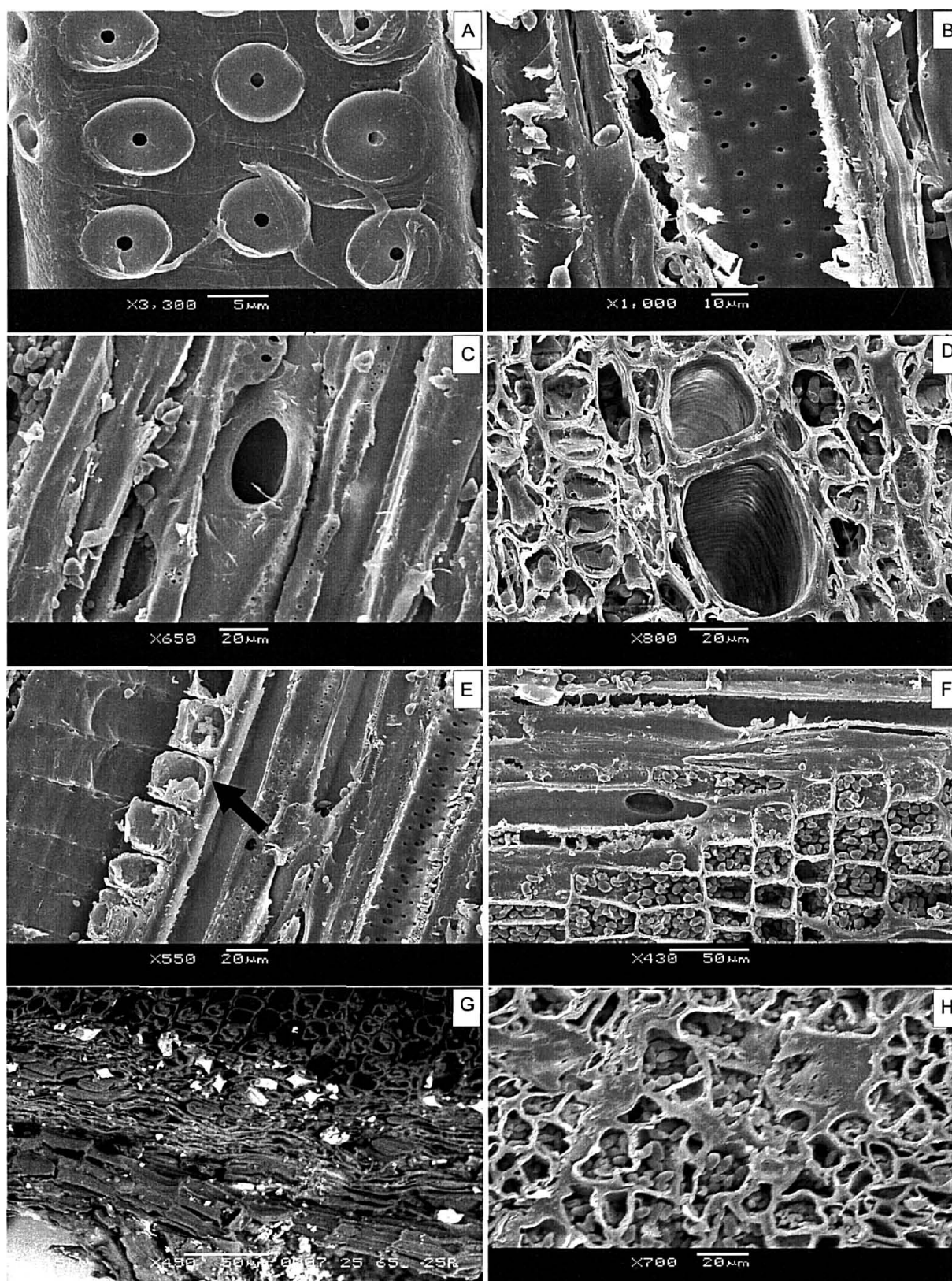


Figura 11. Microscopia eletrônica de varredura do lenho jovem de *Sebastiania commersoniana*; A, B, C, E - Secções longitudinais tangenciais; D, G, H - secções transversais; F - secção longitudinal radial; A - pontoações areoladas do elemento de vaso; B - pontoações intervasculares, parede interna do vaso. C - vaso com placa de perfuração simples; D - detalhe, vasos múltiplos; E - células quadradas de raio (seta); F - raio heterogêneo contendo grânulos de amido; G - cristais prismáticos de oxalato de cálcio presentes no floema; H - mácula formada por células parênquimáticas irregulares contendo grânulos de amido.

4.1.3 Análises qualitativas microquímica da estrutura do lenho de *C. xanthocarpa* e *S. commersoniana*.

4.1.3.1 Amido

As amostras do lenho jovem de *C. xanthocarpa*, do experimento do campo, ao reagirem com lugol (Figura 12), indicaram que o amido estava distribuído em um padrão uniforme, nas plantas da área não contaminada 2NC (Figura 12A), e bem pouco freqüentes em amostras provenientes das áreas contaminadas 2C (Figura 12B) e B1 (Figura 12C), muito embora algumas amostras de áreas contaminadas tivessem sido exceção, como observado na (Figura 12D), em que a concentração de amido foi alta, e além disso atenta-se ao detalhe da formação de uma delgada mácula protegida por uma faixa de paredes lignificadas, muito pouco freqüentes ou quase inexistentes em *C. xanthocarpa*.

Os resultados do experimento de campo encontrados para as plantas de *S. commersoniana* mostraram que nos três tratamentos se deu a formação de máculas com conteúdos ricos em amido, evidenciados em reação química com lugol. Muito embora, perceba-se que as máculas formadas nas plantas crescidas no tratamento 2NC, sejam um pouco mais estreitas do que as máculas encontradas no tratamento 2C e B1 (Figuras 13A,B,C). Observou-se também que as máculas são formadas de células de parênquima, irregulares em orientação e tamanho, circundadas por faixas irregulares de paredes espessas (Figura 13D).

Quanto à presença de amido nas células do parênquima axial e nas células do raio, encontrou-se uma maior distribuição, relativamente uniforme, nas plantas crescidas no tratamento B1 (Figura 13C), e em segundo lugar no tratamento 2NC (Figura 13A), comparados aos resultados encontrados em 2C (Figura 13B), o qual aparentou menor quantidade de amido, uniformemente distribuído.

4.1.3.2 Compostos fenólicos

Quanto às amostras examinadas que reagiram com cloreto férrico, as plantas crescidas nas áreas 2C (Figuras 14B e 14D), apresentaram uma maior concentração de compostos fenólicos, e em segundo lugar as plantas da área B1 (Figura 14C), quando comparadas ao tratamento não contaminado 2NC (Figura 14A). A presença desses compostos, geralmente estava associada aos grânulos de amido, presentes nas células do parênquima e do raio.

4.1.3.3 Lignina

As reações das amostras de madeira com floroglucina, para evidenciar lignina, foram decisivas para o esclarecimento da substância presente nas faixas espessadas, que cercavam todas as máculas. Observou-se que, algumas amostras apresentavam variação na espessura dessas faixas lignificadas, mas sempre presentes (Figura 15). Constatou-se então que as máculas encontradas nas plantas crescidas na área 2NC (Figura 15A), além de formarem máculas mais estreitas, também apresentaram a faixa com paredes lignificadas bem mais delgadas do que as plantas crescidas nas áreas 2C (Figuras 15B, 15D), notando-se que as fibras que estavam próximas às áreas de formação das máculas também estavam fortemente lignificadas (Figura 15D).

4.1.3.4 Substâncias lipídicas

Para as reações das amostras com sudam III, os resultados não foram tão significativos, demonstrando possivelmente que houvesse uma pequena concentração de substâncias lipídicas (cutina e suberina) em torno das máculas, comparadas às reações com floroglucina (Figuras 15B,D), onde se evidenciou claramente a presença de lignina.

Outra questão que deve ser lembrada, é a de que as plantas do experimento

da estufa, não apresentaram máculas, em cerca de 95% das lâminas examinadas, demonstrando que fatores associados ao estresse no campo, podem estar contribuindo para essas características encontradas nas plantas. Dentre as espécies estudadas, a mais sensível para a formação de máculas foi *S. commersoniana*; essas plantas, em solo contaminado, demonstram resultados bastante evidentes com os reagentes utilizados.

Muitas plantas lenhosas estão sujeitas à influência de diversas modalidades de estresses, variam desde extremos de intensidades de luz, de temperatura, fogo, ambiente xerofítico ou inundado, poluição antrópica ou natural, ação do vento, baixa fertilidade do solo; e a própria competição entre as plantas, ataques por insetos ou outros patógenos 'víruses, bactérias, protozoários, helmintos, artrópodes' (FOSKET, 1994; TIVY, 1995; KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997), ação dos herbívoros (CASTRO & MACHADO, 2003) e de algumas atividades humanas.

Acredita-se que o estresse ambiental não altere diretamente o crescimento das árvores, porém influencie no equilíbrio das taxas e balanços dos processos fisiológicos, tais como fotossíntese, assimilação do alimento em novas células, formações de paredes celulares, respiração, síntese de hormônios, absorção de água e sais minerais e outros processos físico-químicos necessários ao metabolismo vegetal (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997).

É possível que mecanismos de proteção e de defesa possam ser evidenciados quando as plantas são submetidas às condições de estresse no campo por agentes invasores, chegando a alterar a composição da parede da célula, no canal ou na via afetada, depositando lignina ou suberina para impedir o avanço do patógeno. A presença desse, pode elevar a taxa de atividade da enzima "phenylalanine ammonia lyase" (LAMB *et al*, 1989) que representa o papel chave na síntese dos precursores e da própria lignina, como também de "fitoalexins" (SALISBURY & ROSS, 1992; FOSKET, 1994; LAMBERS; CHAPIN; PONS, 1998) com função antibiótica.

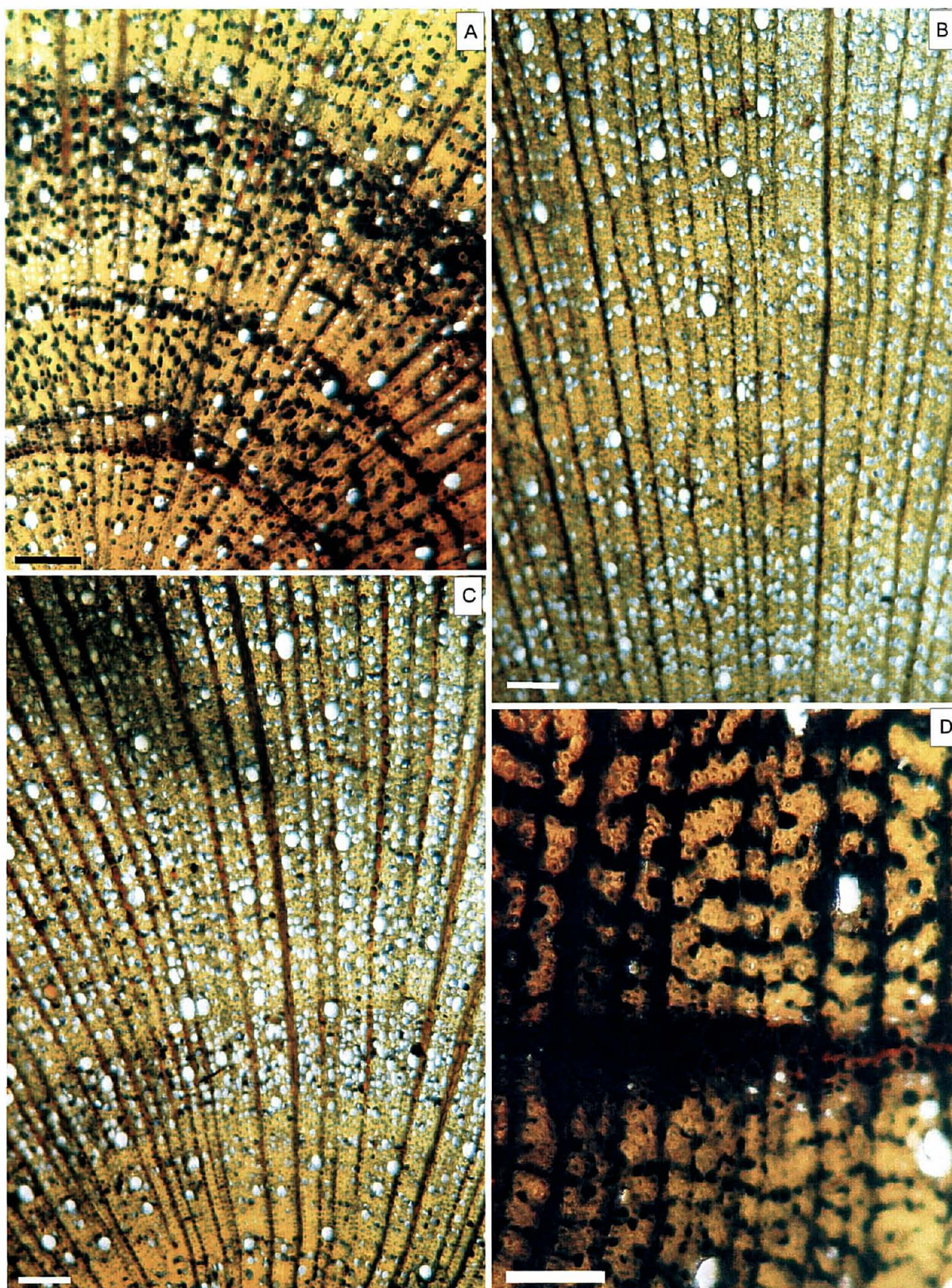


Figura 12. Lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa* (Guabiroba); **A, B, C, D** - secções transversais do xilema secundário, reação com lugol, evidenciando amido nas células parenquimáticas; **A** - amostra do tratamento 2NC (não contaminado), escala = 100µm; **B** - amostra do tratamento 2C (contaminado), escala = 100µm; **C** - amostra do tratamento B1(contaminado biorremediado), escala = 100µm; **D** - amostra do tratamento 2C (contaminado), escala = 100µm..

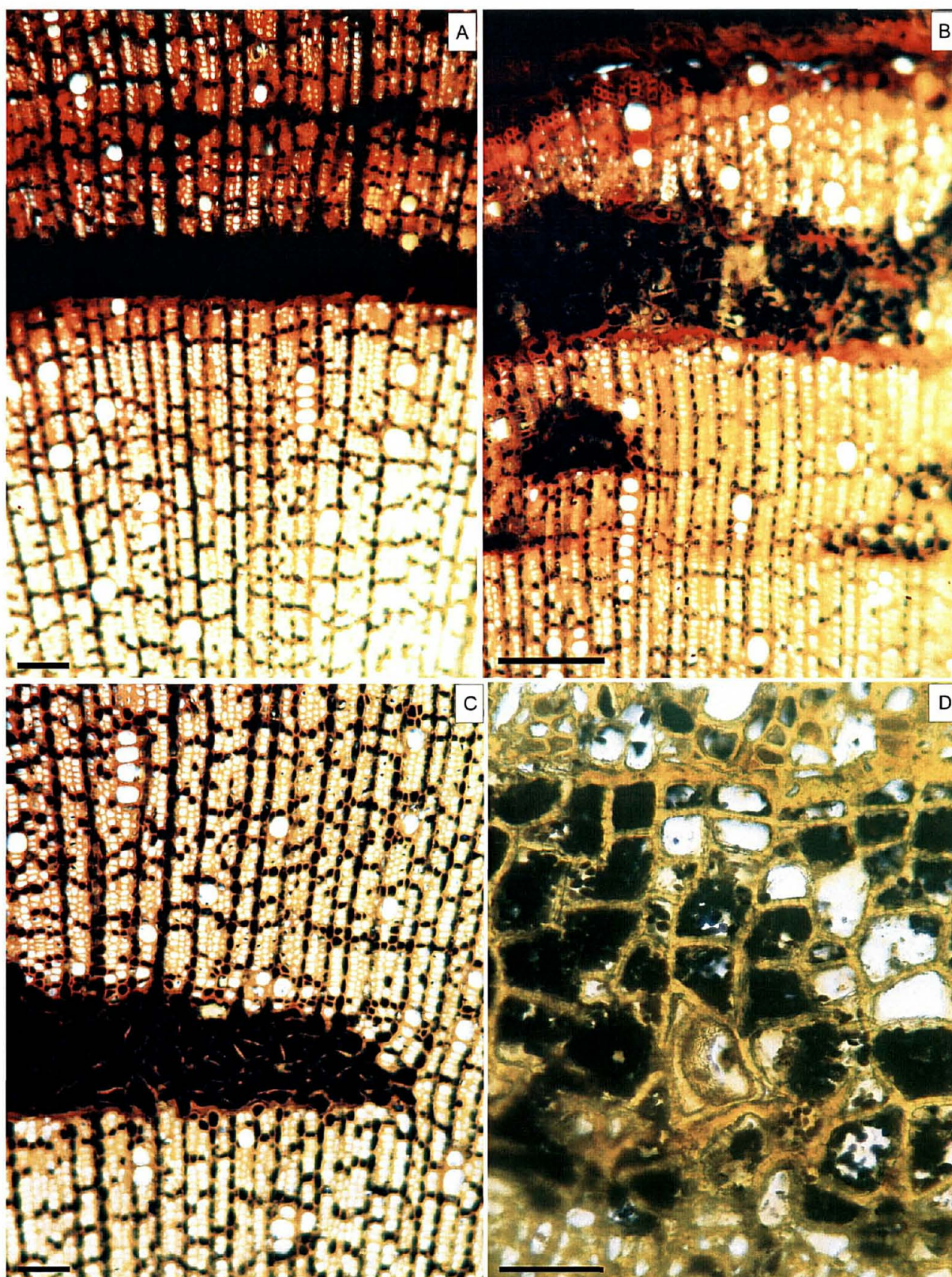


Figura13. Lenho jovem de *Sebastiania commersoniana* (Branquilho); **A, B, C, D** - secções transversais do xilema secundário, reação com lugol, evidenciando amido nas máculas, nas células do parênquima e nas células do raio; **A** - amostra do tratamento 2NC (não contaminado), escala = 100µm; **B** - amostra do tratamento 2C (contaminado), escala = 100µm; **C** - amostra do tratamento B1 (contaminado biorremediado), escala = 100µm **D** - amostra do tratamento 2C (contaminado), escala = 50µm.

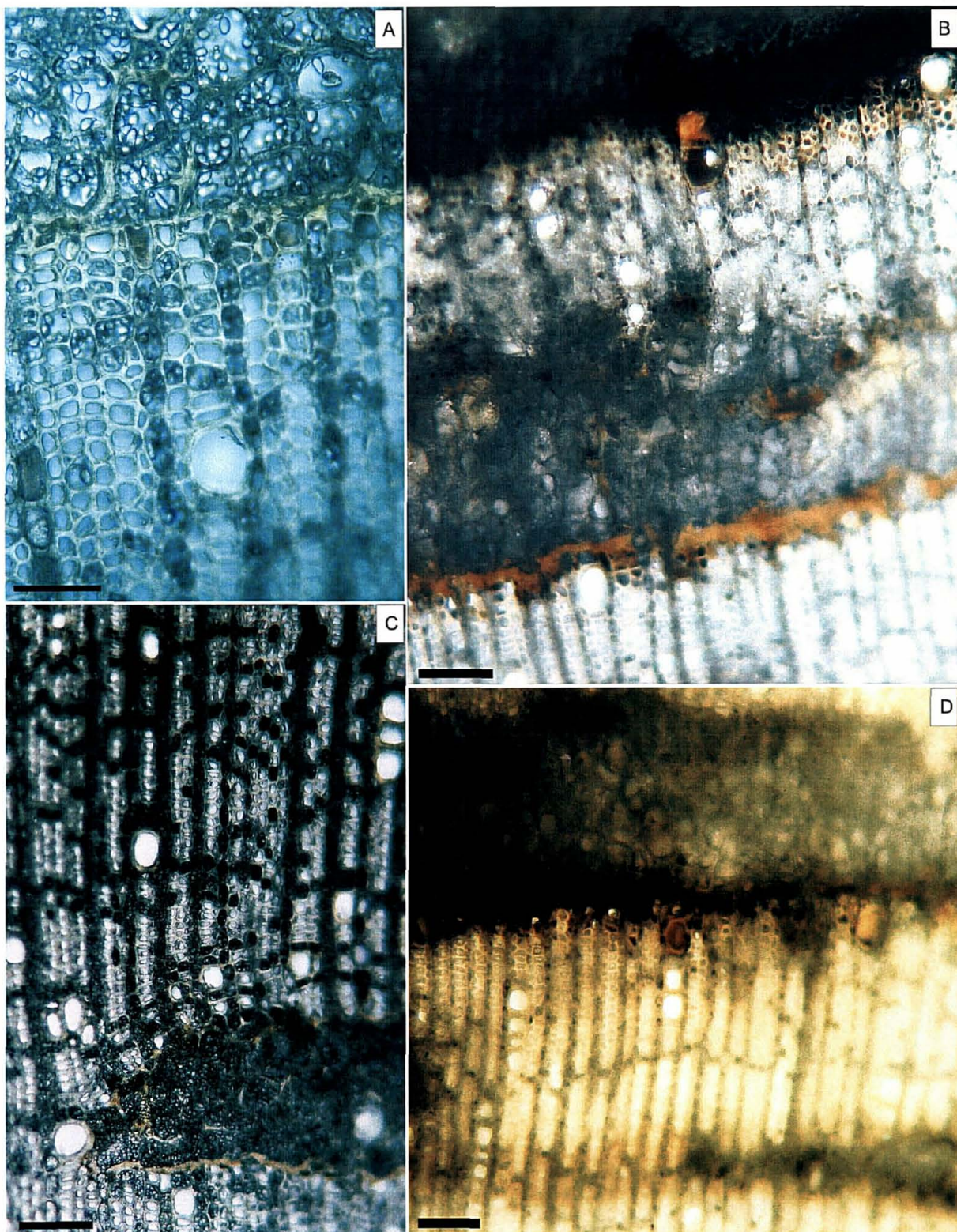


Figura 14. Lenho jovem de *Sebastiania commersoniana* (Branquilha); A, B, C, D - secções transversais do xilema secundário, reação com cloreto férrico, evidenciando compostos fenólicos nas máculas e nas células adjacentes; A - amostra do tratamento 2NC (não contaminado), escala=50µm; B - amostra do tratamento 2C (contaminado), escala=100µm; C - amostra do tratamento B1 (contaminado biorremediado), escala=100µm; D - amostra do tratamento 2C (contaminado), escala=100µm.

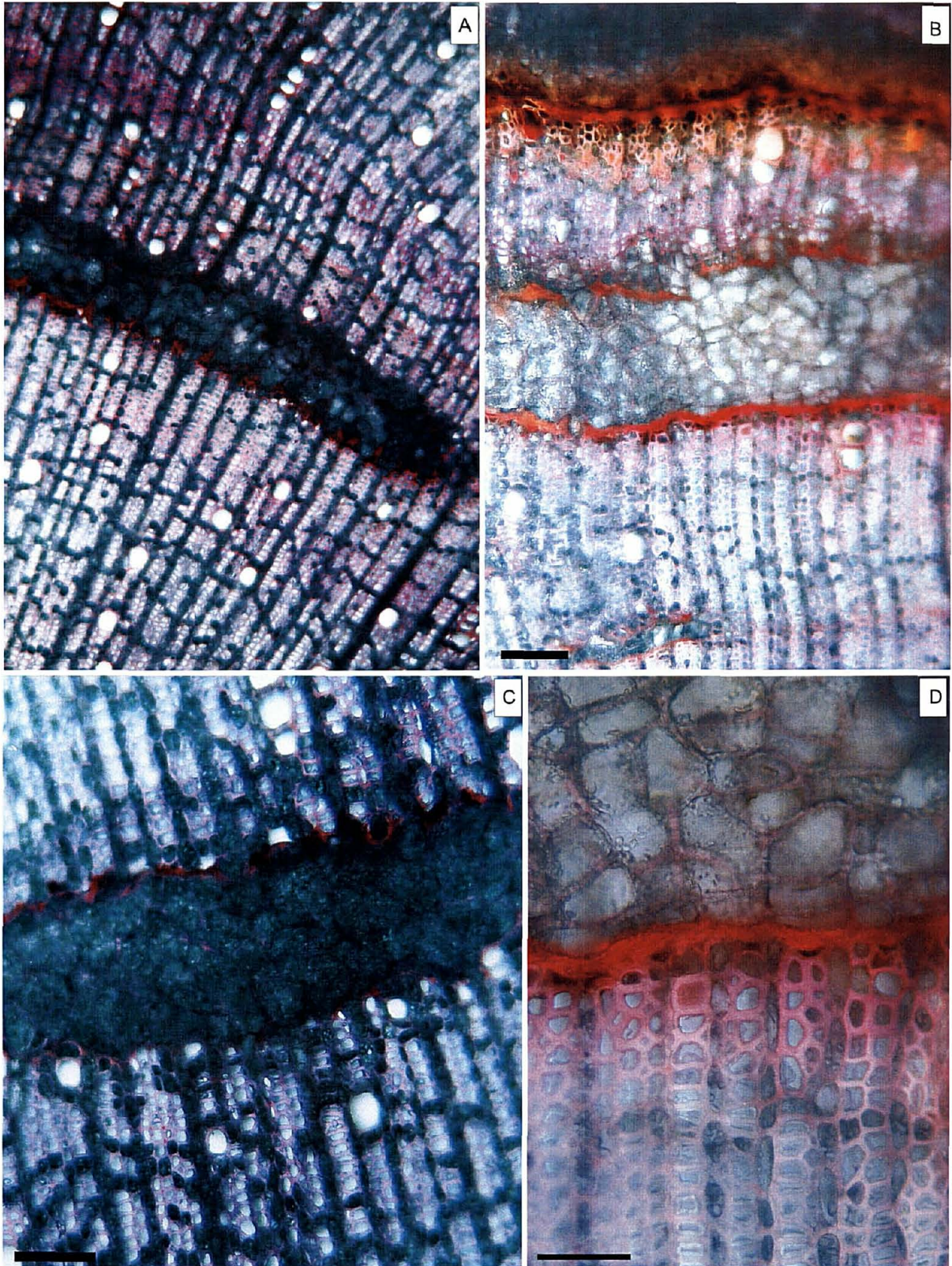


Figura 15. Lenho jovem de *Sebastiania commersoniana* (Branquilho); **A, B, C, D** - secções transversais do xilema secundário, reação com floroglucina, evidenciando camadas espessadas de lignina em torno das máculas, e em paredes das células adjacentes às máculas; **A** - amostra do tratamento 2NC (não contaminado), escala = 100µm; **B** - amostra do tratamento 2C (contaminado), escala = 100µm; **C** - amostra do tratamento B1 (contaminado biorremediado), escala = 100µm; **D** - amostra do tratamento 2C(contaminado), escala = 50µm.

4.1.4 Análises quantitativas do lenho jovem de *Campornanesia xanthocarpa* (campo)

As Tabelas de (11 a 17), apresentam sinteticamente os resultados das análises efetuadas para cada variável, o número de repetições R, assim como, os parâmetros estatísticos de média e desvio padrão das amostras, coeficiente de variação, a estimativa do valor mínimo e valor máximo de cada variável, e o teste de Tukey entre as médias das três áreas estudadas, como também o resultado da análise discriminante (Tabela 18). Enquanto que, os cálculos das análises de variâncias (ANOVA) e da análise discriminante estão representados nos (Anexos 2,3,4); e os gráficos das médias, erro e desvio-padrão das variáveis no (Anexo 17).

Baseado no resultado da análise estatística (ANOVA) as médias para a variável, Diâmetro de vaso (DV) são consideradas distintas entre os tratamentos, as plantas que se desenvolveram no solo não-contaminado (2NC) apresentaram, em média, vasos com menor diâmetro tangencial (18,01 μ m) em relação às plantas do solo contaminado (2C), com (21,32 μ m) e do solo biorremediado (B1) com (23,60 μ m), sendo a diferença estatisticamente significativa em relação aos dois últimos substratos (Tabela 11).

TABELA 11 – DIÂMETRO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento de campo, áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

ÁREA	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	DV	6	21,32 a	21,49	17,81	24,43	2,67	12,52
2NC	DV	6	18,01 b	18,14	16,16	19,82	1,40	7,77
B1	DV	6	23,60 a	23,87	20,70	25,81	2,06	8,72

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O diâmetro das fibras (DF) das plantas que cresceram nas áreas 2C e 2NC não difere entre si, o mesmo ocorre entre 2C e B1, porém entre a área 2NC (12,56 μ m) e B1 (13,83 μ m) as médias são estatisticamente significativas para ($p < 0,05$), sendo maior na área B1 (Tabela 12).

TABELA 12 - DIÂMETRO DE FIBRAS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento de campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

ÁREA	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	DF	6	13,69ab	13,69	12,40	15,49	1,13	8,25
2NC	DF	6	12,56 a	12,36	11,99	13,31	0,61	4,85
B1	DF	6	13,83 b	13,86	13,10	14,38	0,55	3,97

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O comprimento de vaso (CV), apêndice, número de vasos.mm⁻² (NV), comprimento de fibra (CF), e espessura de parede de fibra (EPF) não apresentaram os seus valores estatisticamente distintos entre as três áreas (2C, 2NC, B1) (Tabelas 13-17).

TABELA 13 – COMPRIMENTO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

ÁREA	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	CV	6	349,43 a	342,97	319,15	382,22	23,39	6,69
2NC	CV	6	355,73 a	363,60	325,32	373,65	19,44	5,46
B1	CV	6	360,19 a	361,83	327,14	384,28	20,48	5,68

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 14 – COMPRIMENTO DE APÊNDICES DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

ÁREA	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	APÊNDICE	6	56,97 a	55,36	47,65	66,50	7,79	13,68
2NC	APÊNDICE	6	64,28 a	68,56	37,37	81,59	16,10	25,04
B1	APÊNDICE	6	69,36 a	71,65	46,28	89,47	19,15	27,60

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 15 – NÚMERO DE VASOS (POROS. mm⁻²) do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

ÁREA	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	NV	6	25,37 a	23,78	21,60	36,32	5,51	21,71
2NC	NV	6	25,63 a	25,34	23,32	28,20	2,11	8,23
B1	NV	6	22,22 a	21,72	17,12	28,68	4,13	18,58

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 16 – COMPRIMENTO DE FIBRAS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

ÁREA	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	CF	6	989,75 a	1014,88	838,81	1065,86	81,16	8,20
2NC	CF	6	1020,45 a	999,03	967,33	1125,84	56,52	5,53
B1	CF	6	993,89 a	995,17	908,21	1059,00	53,86	5,41

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 17 – ESPESSURA DE PAREDE DE FIBRAS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

ÁREA	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	EPF	6	3,51 a	3,48	3,31	3,76	0,19	5,41
2NC	EPF	6	3,37 a	3,38	3,27	3,41	0,05	1,48
B1	EPF	6	3,49 a	3,46	3,19	3,75	0,21	6,01

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 18 – MATRIZ DE RECLASSIFICAÇÃO DAS PLANTAS A PARTIR DO MODELO DE ANÁLISE DISCRIMINANTE; Linhas: classificação original; Colunas: classificação predita pelo modelo em *Campomanesia xanthocarpa* (campo)

SOLO	Percentual	Contaminado	Não-contaminado	Biorremediado
	Correto	p=,33333	p=,33333	p=,33333
Contaminado	33,33	2	1	3
Não_contaminado	83,33	1	5	0
Biorremediado	83,33	1	0	5
Total	66,67	4	6	8

O resultado da análise discriminante apresentado na Tabela 18 mostrou que o modelo de reclassificação das plantas identificou 5 plantas que cresceram em solo não contaminado de um total de 6 ; também identificou 5 plantas que cresceram em solo contaminado biorremediado de um total de 6; e 2 plantas crescidas em solo contaminado. A causa provável desse menor percentual de acerto, talvez seja devido à inconstância do solo contaminado biorremediado ora se comportando como contaminado, ora se comportando como não contaminado.

4.1.5 Análises quantitativas do lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa* (estufa)

Os comprimentos dos apêndices dos elementos de vasos são distintos entre as plantas dos diferentes tratamentos, uma vez que $CA=NCA$, $C=NC$, e $C\neq NCA$, $NCA\neq NC$. O menor valor das médias dos apêndices ocorreu nas plantas de solo contaminado sem adubo, inferindo que talvez a adubação possa estar exercendo uma certa influência no comprimento dos apêndices, devido ao valor mais alto ($121,69\mu\text{m}$) estar em plantas de solo adubado e não contaminado (Tabela 19).

TABELA 19 – COMPRIMENTO DE APÊNDICES DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	APÊND.	6	102,84 ^{ac}	113,47	61,70	122,38	24,53	23,85
NCA	APÊND.	6	121,69 ^a	118,27	86,73	160,77	27,47	22,57
C	APÊND.	6	63,53 ^b	65,30	50,73	75,76	8,96	14,10
NC	APÊND.	6	73,13 ^{bc}	73,02	56,56	88,78	13,09	17,89

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O diâmetro dos vasos (DV), foi distinto entre os tratamentos, sendo que $CA=NCA=C$, $CA\neq NC$, $NCA=NC$, e $C=NC$, sendo que as maiores médias ($27,91\mu\text{m}$ e $26,64\mu\text{m}$) foram encontradas em plantas crescidas em solo contaminado, ao passo que a menor média ($24,47\mu\text{m}$) pertence às plantas do solo não contaminado sem adubo (Tabela 20).

TABELA 20 – DIÂMETRO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	DV	6	27,91 ^a	28,63	24,70	30,58	2,12	7,59
NCA	DV	6	26,11 ^{ab}	25,95	23,99	29,43	1,90	7,27
C	DV	6	26,64 ^{ac}	26,90	24,90	27,99	1,11	4,16
NC	DV	6	24,47 ^{bc}	24,70	22,95	25,30	0,85	3,47

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Quanto ao número de vasos. mm^{-2} (NV), foi observado que $CA=NCA$,

NCA=C=NC, CA \neq C e CA \neq NC, onde, a menor média de (17,14 μ m) foi encontrada nas plantas que cresceram em solo contaminado e adubado (Tabela 21).

TABELA 21 – NÚMERO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	NV	6	17,14 a	17,00	15,80	18,64	1,06	6,18
NCA	NV	6	20,70ab	22,00	15,44	25,68	4,22	20,38
C	NV	6	25,38 b	26,14	20,20	27,92	2,72	10,71
NC	NV	6	22,71 b	21,90	18,32	30,64	4,18	18,40

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O comprimento das fibras (CF) mostrou diferenças estatísticas entre os tratamentos, sendo que CA não difere dos demais tratamentos, mas NCA \neq C e NCA \neq NC. A maior média (1068,83 μ m) corresponde às plantas crescidas em solo não contaminado e sem adubo, e a menor (986,46 μ m) às plantas do solo não contaminado adubado (Tabela 22).

TABELA 22 – COMPRIMENTO DE FIBRAS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	CF	6	1034,59abc	1035,01	991,32	1081,28	32,57	3,14
NCA	CF	6	986,46 a	988,75	921,06	1051,29	44,06	4,46
C	CF	6	1057,43 bc	1054,29	1001,60	1116,41	39,38	3,72
NC	CF	6	1068,83 c	1061,86	1015,31	1123,28	36,41	3,40

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Quanto ao diâmetro das fibras (DF) foi registrado diferenças significativas ($p < 0,05$), sendo que CA=NCA=NC, mas CA \neq C e C=NC. A maior média (14,98 μ m) para essa variável corresponde às plantas crescidas sob o efeito da contaminação e sem a presença da adubação, ao passo que a menor média (13,92 μ m) foi observada nas plantas crescidas em solo contaminado adubado (Tabela 23).

TABELA 23 - DIÂMETRO DE FIBRAS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	DF	6	13,92a	13,96	13,04	14,95	0,78	5,60
NCA	DF	6	14,32ab	14,04	13,74	15,42	0,62	4,32
C	DF	6	14,98bc	15,10	13,91	15,62	0,62	4,15
NC	DF	6	14,00ac	13,76	13,61	14,88	0,51	3,64

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A espessura de parede da fibra (EPF) difere estatisticamente entre os tratamentos, sendo que, $NCA > C = CA = NC$. Portanto é possível que a não contaminação associada à adubação tenha favorecido as plantas crescidas em NCA, para que pudessem ter as suas fibras com paredes mais espessadas e conseqüentemente seus lúmens reduzidos (Tabela 24).

TABELA 24 – ESPESSURA DE PAREDE DE FIBRAS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	EPF	6	3,66 a	3,65	3,49	3,88	0,15	4,09
NCA	EPF	6	3,98 b	3,96	3,91	4,17	0,09	2,26
C	EPF	6	3,69 a	3,76	3,48	3,85	0,15	4,06
NC	EPF	6	3,62 a	3,63	3,36	3,86	0,18	4,97

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As médias para a variável, comprimento de vaso (CV), não apresentaram os seus valores estatisticamente distintos entre os quatro tratamentos (Tabela 25).

TABELA 25 – COMPRIMENTO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *C. xanthocarpa* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	CV	6	398,22 a	401,59	348,97	433,98	28,34	7,11
NCA	CV	6	398,60 a	396,62	380,85	419,51	17,53	4,39
C	CV	6	369,31 a	362,34	354,46	390,45	14,88	4,02
NC	CV	6	382,56 a	374,68	359,94	419,24	24,40	6,37

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O resultado da análise discriminante mostrou que o modelo de reclassificação das plantas identificou 6 plantas que cresceram em solo contaminado adubado de um total de 6 ; também identificou 6 plantas que cresceram em solo não contaminado adubado de um total de 6; identificou 5 plantas crescidas em solo contaminado sem adubo; e 5 plantas crescidas em solo não contaminado sem adubo, garantindo assim um percentual de acertos de 91,66% (Tabela 26). Os cálculos das análises de variâncias (ANOVA) e da análise discriminante estão representados nos (Anexos 5,6,7); e os gráficos das médias, erro e desvio-padrão das variáveis no (Anexo 18).

TABELA 26 – MATRIZ DE RECLASSIFICAÇÃO DAS PLANTAS A PARTIR DO MODELO DE ANÁLISE DISCRIMINANTE em *Campomanesia xanthocarpa* (estufa)

SOLO	Percent	Cont_adu	Não_co_ad	Contamin	Não_cont
	Correct	p=,25000	p=,25000	p=,25000	p=,25000
Cont_adu	100,0000	6	0	0	0
Nãoco_ad	100,0000	0	6	0	0
Contamin	83,3333	0	0	5	1
Não_cont	83,3333	0	0	1	5
Total	91,6667	6	6	6	6

Colunas: classificação predita pelo modelo / Linhas: classificação original

4.1.6 Análises quantitativas do lenho jovem de *Sebastiania commersoniana* (campo)

As médias para a variável, Comprimento do vaso (CV) apresentaram-se da seguinte maneira: $2C=2NC$, $2NC=B1$ e $2C \neq B1$. O maior valor médio (623,16 μm) para essa variável foi encontrado nas plantas crescidas na área contaminada biorremediada. Apesar de não haver diferença significativa entre a média de 2C e 2NC, notou-se que o comprimento do elemento de vaso (548,25 μm) seguiu a tendência de ser menor nas plantas crescidas no solo contaminado (Tabela 27).

TABELA 27 – COMPRIMENTO DE ELEMENTO DE VASOS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	CV	6	548,25 a	540,94	511,46	614,64	38,01	6,93
2NC	CV	6	611,50ab	599,90	547,11	703,08	52,30	8,55
B1	CV	6	623,16 b	623,55	568,71	692,80	50,21	8,05

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O resultado estatístico para a variável, Número de vasos.mm² (NV) foi significativo, uma vez que, 2C=2NC, 2C=B1, e 2NC≠B1. A maior média (29,41poros.mm²) para essa variável corresponde às plantas que cresceram em solo não contaminado (Tabela 28).

TABELA 28 - NÚMERO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	NV	6	27,91ab	27,98	26,76	29,36	1,07	3,83
2NC	NV	6	29,41 a	29,76	26,88	31,64	1,75	5,95
B1	NV	6	26,64 b	25,98	24,76	29,20	2,02	7,58

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística (ANOVA) mostrou que houve diferença significativa entre os três tratamentos, onde B1=2NC>2C, evidenciando que a maior média (1083,28µm) para a variável em questão, foi encontrada nas plantas que cresceram no solo contaminado e biorremediado e a menor (984,18µm), para as plantas crescidas no solo contaminado (Tabela 29).

TABELA 29 – COMPRIMENTO DE FIBRAS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento de campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	CF	6	984,18a	978,89	937,34	1046,15	40,88	4,15
2NC	CF	6	1072,42b	1083,41	1016,16	1100,13	30,22	2,81
B1	CF	6	1083,28b	1100,13	1005,03	1122,41	41,96	3,87

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Para a variável, diâmetro das fibras (DF), o resultado estatístico também foi significativo (Tabela 28), onde $B1=2NC < 2C$, neste caso, é possível que o efeito da contaminação tenha exercido alguma influência no aumento do diâmetro das fibras nas plantas crescidas no solo contaminado. Observando-se os resultados (Tabela 30) para a variável, espessura de parede de fibras (EPF), onde não houve diferença estatística, constatou-se que a parede das fibras dos três tratamentos possui a mesma espessura, o que poderia sugerir que essas plantas em contato com a contaminação, além do menor comprimento, tiveram o seu lume aumentado, já que o diâmetro total aumentou e a sua espessura de parede permaneceu a mesma.

TABELA 30 – DIÂMETRO DE FIBRAS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento de campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	DF	6	18,99a	19,08	18,21	19,56	0,47	2,47
2NC	DF	6	17,99b	17,82	17,40	19,08	0,61	3,39
B1	DF	6	17,93b	17,96	16,83	19,15	0,81	4,51

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

As médias para as variáveis (Tabelas 31,32,33) Espessura de parede de fibra (EPF), Apêndice, Diâmetro do vaso (DV) não apresentaram os seus valores estatisticamente distintos entre as três áreas: (2C) solo contaminado, (2NC) solo não contaminado, (B1) solo biorremediado.

TABELA 31 – ESPESSURA DA PAREDE DAS FIBRAS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	EPF	6	2,74 a	2,76	2,47	2,99	0,19	6,93
2NC	EPF	6	2,64 a	2,60	2,37	3,16	0,28	10,60
B1	EPF	6	2,79 a	2,81	2,50	2,96	0,15	5,37

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 32 – COMPRIMENTO DE APÊNDICES DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	APÊNDICE	6	119,81 a	122,72	96,67	149,12	18,87	15,74
2NC	APÊNDICE	6	120,63 a	116,21	85,36	160,77	28,64	23,74
B1	APÊNDICE	6	119,12 a	117,41	100,44	140,89	15,66	13,14

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 33 – DIÂMETRO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
2C	DV	6	31,15 a	29,53	27,22	36,05	3,72	11,94
2NC	DV	6	30,98 a	30,99	30,04	31,52	0,52	1,67
B1	DV	6	34,47 a	34,12	30,78	38,54	2,66	7,71

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O resultado da análise discriminante demonstrou que o modelo de reclassificação das plantas identificou 6 plantas que cresceram em solo contaminado de um total de 6 ; também identificou 5 plantas que cresceram em solo não contaminado de um total de 6; e 6 plantas crescidas em solo contaminado e biorremediado . Perfazendo um percentual de 94,44 % de acerto (Tabela 34). Os cálculos das análises de variâncias (ANOVA) e da análise discriminante estão representados nos (Anexos 8,9,10); e os gráficos das médias, erro e desvio-padrão das variáveis no (Anexo 19).

TABELA 34 – MATRIZ DE RECLASSIFICAÇÃO DAS PLANTAS A PARTIR DO MODELO DE ANÁLISE DISCRIMINANTE

SOLO	Percentual	Contaminado	Não-contaminado	Banhado
	Correto	p=,33333	p=,33333	p=,33333
Contaminado	100,0000	6	0	0
Não-contaminado	83,3333	0	5	1
Biorremediado	100,0000	0	0	6
Total	94,4444	6	5	7

Linhas: classificação original / Colunas: classificação predita pelo modelo

4.1.7 Análises quantitativas do lenho jovem de *Sebastiania commersoniana* (estufa)

O resultado estatístico demonstrou que a diferença entre as médias para a variável, diâmetro do vaso (DV) é significativo, onde $CA=C=NC$, $CA=NCA=NC$, mas $NCA \neq C$, sendo que a maior média (30,86 μ m) correspondeu às plantas do solo não contaminado adubado, enquanto que a menor (27,10 μ m) as plantas do solo contaminado sem adubo (Tabela 35). Resultado semelhante foi encontrado para a variável, Número de vasos.mm⁻² (NV), onde a maior média (31,41 μ m) corresponde às plantas do solo não contaminado adubado, enquanto que a menor média para essa variável (23,23 μ m) foi encontrada nas plantas crescidas no solo contaminado sem adubo (Tabela 36).

TABELA 35 – DIÂMETRO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento de estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	DV	6	28,83ab	28,81	26,51	31,75	2,08	7,21
NCA	DV	6	30,86 a	30,86	26,31	34,88	2,81	9,10
C	DV	6	27,10bc	26,80	26,14	28,86	1,12	4,13
NC	DV	6	30,11ac	30,36	28,46	31,75	1,21	4,01

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 36 – NÚMERO DE VASOS (POROS. mm⁻²) do lenho jovem de *S. commersoniana* em estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	NV	6	28,83a	28,84	26,88	31,16	1,67	5,79
NCA	NV	6	31,41a	31,62	29,60	32,76	1,33	4,23
C	NV	6	23,23b	22,92	21,76	26,12	1,63	7,01
NC	NV	6	28,29a	27,20	23,36	37,32	5,41	19,12

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O comprimento de fibra (CF) apresentou diferença estatística significativa, onde $CA=NCA=C$, $C=NC$, mas $CA=NCA \neq NC$. A maior média (1142,26 μ m)

correspondente às plantas crescidas no solo não contaminado, enquanto que a menor (1042,72 μ m) às plantas do solo não contaminado adubado (Tabela 37).

TABELA 37 – COMPRIMENTO DE FIBRAS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	CF	6	1045,29 a	1053,72	990,46	1113,84	47,25	4,52
NCA	CF	6	1042,72 a	1046,15	982,75	1110,41	47,20	4,52
C	CF	6	1099,85ab	1091,14	1065,86	1154,97	33,80	3,07
NC	CF	6	1142,26 b	1139,97	1097,56	1196,95	32,70	2,86

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A espessura da parede das fibras (EPF) apresentou diferença significativa entre as plantas dos tratamentos, sendo que CA=C, NCA=C, NCA=NC, mas CA \neq NCA e CA \neq NC. A maior média (3,14 μ m) foi encontrada nas plantas que cresceram no solo não contaminado, e a menor (2,53 μ m) nas plantas que cresceram no solo contaminado adubado (Tabela 38). Diante desses resultados pode-se inferir que a espessura da parede das fibras das plantas crescidas em solo contaminado apresentou-se mais delgada comparada às plantas crescidas no solo não contaminado.

As médias para as variáveis (Tabelas 39,40,41) comprimento do vaso, apêndice, e diâmetro da fibra, não apresentam os seus valores estatisticamente distintos.

TABELA 38 – ESPESSURA DE PAREDE DE FIBRAS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	EPF	6	2,53 a	2,56	2,27	2,76	0,18	7,11
NCA	EPF	6	3,02bc	2,99	2,77	3,24	0,17	5,62
C	EPF	6	2,80ab	2,84	2,44	3,02	0,21	7,5
NC	EPF	6	3,14 c	3,02	2,94	3,61	0,26	8,28

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 39 – COMPRIMENTO DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	CV	6	640,12 a	638,46	604,01	679,43	30,38	4,74
NCA	CV	6	656,75 a	671,72	569,39	689,03	43,97	6,69
C	CV	6	635,88 a	648,24	568,36	682,74	47,90	7,53
NC	CV	6	674,69 a	687,66	615,67	730,51	47,50	7,04

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 40 – COMPRIMENTO DE APÊNDICES DE ELEMENTOS DE VASOS do lenho jovem de *S. commersoniana* em estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	APÊND.	6	132,15 a	133,52	111,07	150,49	16,38	12,39
NCA	APÊND.	6	130,38 a	132,15	115,18	143,63	10,21	7,83
C	APÊND.	6	119,07 a	120,15	91,18	143,98	18,33	15,39
NC	APÊND.	6	115,07 a	116,04	76,44	152,20	28,60	24,85

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 41 – DIÂMETRO DE FIBRAS do lenho jovem de *S. commersoniana* em experimento de estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado sem adubo) e NC (solo não contaminado sem adubo).

SOLO	VARIÁVEL	R	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	C.V.(%)
CA	DF	6	18,35 a	18,13	17,74	19,86	0,78	4,25
NCA	DF	6	19,20 a	19,22	18,38	20,03	0,62	3,22
C	DF	6	19,30 a	18,65	18,45	21,30	1,18	6,11
NC	DF	6	19,24 a	19,10	18,55	20,26	0,60	3,11

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

O resultado da análise discriminante apresentado na (Tabela 42) mostrou que o modelo de reclassificação das plantas identificou 6 plantas que cresceram em solo contaminado adubado de um total de 6 ; também identificou 6 plantas que cresceram em solo não contaminado adubado de um total de 6; identificou 5 plantas crescidas em solo contaminado sem adubo; e 5 plantas crescidas em solo não contaminado sem adubo, garantindo assim um percentual de acertos de 91,66%. Os cálculos das análises de variâncias (ANOVA) e da análise discriminante estão representados nos (Anexos 11,12,13); e os gráficos das médias, erro e desvio-padrão das variáveis no (Anexo 20).

TABELA 42 – MATRIZ DE RECLASSIFICAÇÃO DAS PLANTAS A PARTIR DO MODELO DE ANÁLISE DISCRIMINANTE

	Percentual	Cont_adu	Não_co_ad	Contamin	Não-cont
	Correto	p=,25000	p=,25000	p=,25000	p=,25000
Cont_adu	100,0000	6	0	0	0
Não_co_ad	100,0000	0	6	0	0
Contamin	83,3333	1	0	5	0
Não-cont	83,3333	0	0	1	5
Total	91,6667	7	6	6	5

Linhas: classificação original / Colunas: classificação predita pelo modelo

4.1.7.1 Resumo - resultados significativos de *C. xanthocarpa* para ($p < 0,05$) em experimento de campo e de estufa.

Campo

(DV) $2C > 2NC$, $B1 > 2NC$

(DF) $B1 > 2NC$

Estufa

Apêndices $NCA > NC$, $NCA > C$

(DV) $CA > NC$

(NV) $CA < NC$, $CA < C$

(CF) $NCA < NC$, $NCA < C$

(DF) $CA < C$

(EPF) $NCA > CA$, $NCA > C$, $NCA > NC$

4.1.7.2 Resumo – resultados significativos de *S. commersoniana* para ($p < 0,05$) em experimento de campo e de estufa.

Campo

(CV) $2C < B1$

(NV) $2NC > B1$

(CF) $2C < 2NC$, $2C < B1$

(DF) $2C > 2NC$, $2C > B1$

Estufa

(DV) $NCA > C$

(NV) $C < NC$, $C < CA$, $C < NCA$

(CF) $NC > NCA$, $NC > CA$

(EPF) $NCA > CA$, $NC > CA$, $NC > C$

4.1.8 Resultados e discussão da análise anatômica

Um dos objetivos deste estudo foi analisar as possíveis alterações na anatomia do lenho de *C. xanthocarpa* e de *S. commersoniana* cultivadas em solo contaminado. Os resultados encontrados para os experimentos estão sumariamente expostos nas Tabelas 43 e 44. Devendo-se considerar que os experimentos do campo abrangeram uma variedade maior de fenômenos, além da contaminação, e que os mesmos, poderiam ter influenciado os resultados encontrados.

Em relação ao ambiente da estufa, homogêneo para todos os tratamentos, há de se considerar a intervenção da adubação nos respectivos tratamentos, mas sobretudo sem perder de vista o caráter da contaminação versus a não contaminação.

TABELA 43 – Resumo dos Resultados da Análise Anatômica do lenho jovem de *Campomanesia xanthocarpa*, considerando-se CONTAMINADO versus NÃO CONTAMINADO, para as variáveis: (CV) comprimento de vaso; (APÊND.) comprimento dos apêndices; (DV) diâmetro do vaso; (NV.mm²) número de vasos por milímetro quadrado; (CF) comprimento de fibra; (DF) diâmetro da fibra; (EPF) espessura da parede da fibra.

VARIÁVEIS	CAMPO	CAMPO	CAMPO	ESTUFA	ESTUFA
CV	2NC ≤ B1	2C ≤ B1	2C ≤ 2NC	CA ≤ NCA	C ≤ NC
APÊND.	2NC ≤ B1	2C ≤ B1	2C ≤ 2NC	CA ≤ NCA	C ≤ NC
DV	2NC < B1	2C ≤ B1	2C > 2NC	CA ≥ NCA	C ≥ NC
NV.mm ⁻²	2NC ≥ B1	2C ≥ B1	2C ≤ 2NC	CA ≤ NCA	C ≥ NC
CF	2NC ≥ B1	2C ≤ B1	2C ≤ 2NC	CA ≥ NCA	C ≤ NC
DF	2NC < B1	2C ≤ B1	2C ≥ 2NC	CA ≤ NCA	C ≥ NC
EPF	2NC ≤ B1	2C ≥ B1	2C ≥ 2NC	CA < NCA	C ≥ NC

Solos: (2NC) não contaminado; (B1) contaminado e biorremediado; (2C) contaminado; (CA) contaminado adubado; (NCA) não contaminado adubado; (C) contaminado sem adubo; (NC) não contaminado sem adubo; valores em negrito são significativos para ($p < 0,05$); valores \geq ou \leq não diferem estatisticamente entre si.

TABELA 44 – Resumo dos Resultados da Análise Anatômica do lenho jovem de *Sebastiania commersoniana*, considerando-se CONTAMINADO versus NÃO CONTAMINADO, para as variáveis: (CV) comprimento de vaso; (APÊND.) comprimento dos apêndices; (DV) diâmetro do vaso; (NV.mm²) número de vasos por milímetro quadrado; (CF) comprimento de fibra; (DF) diâmetro da fibra; (EPF) espessura da parede da fibra.

VARIÁVEIS	CAMPO	CAMPO	CAMPO	ESTUFA	ESTUFA
CV	2NC ≤ B1	2C < B1	2C ≤ 2NC	CA ≤ NCA	C ≤ NC
APÊND.	2NC ≥ B1	2C ≥ B1	2C ≤ 2NC	CA ≥ NCA	C ≥ NC
DV	2NC ≤ B1	2C ≤ B1	2C ≥ 2NC	CA ≤ NCA	C ≤ NC
NV.mm ²	2NC > B1	2C ≥ B1	2C ≤ 2NC	CA ≤ NCA	C < NC
CF	2NC ≤ B1	2C < B1	2C < 2NC	CA ≥ NCA	C ≤ NC
DF	2NC ≥ B1	2C > B1	2C > 2NC	CA ≤ NCA	C ≥ NC
EPF	2NC ≤ B1	2C ≤ B1	2C ≥ 2NC	CA < NCA	C < NC

Solos: (2NC) não contaminado; (B1) contaminado e biorremediado; (2C) contaminado; (CA) contaminado adubado; (NCA) não contaminado adubado; (C) contaminado sem adubo; (NC) não contaminado sem adubo; valores em negrito são significativos para ($p < 0,05$); valores \geq ou \leq não diferem estatisticamente entre si.

No presente estudo, algumas variáveis apresentaram tendências definidas. Foi observado que o comprimento dos elementos de vasos foi menor em todas as plantas que cresceram nos tratamentos sob o efeito da contaminação por petróleo. Uma possível causa para explicar esse padrão de crescimento menor, poderia ser em relação às taxas dos hormônios de crescimento, em especial a auxina, pois se sabe que esse hormônio exerce papel predominante na

regulação da atividade cambial, incluindo mitoses nas iniciais fusiformes e diferenciação celular das cambiais derivadas (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1997). Muito embora, não se possa afirmar que nesse caso pudesse estar havendo uma intervenção da contaminação sobre esse hormônio de crescimento, pois os efeitos bioquímicos do petróleo nas plantas são muito pouco conhecidos.

O comprimento dos apêndices, em *C. xanthocarpa*, também apresentou a tendência para valores menores em plantas que estavam submetidas a áreas contaminadas. Entretanto, em *S. commersoniana* esses resultados divergiram no experimento em estufa, pois foram observados os maiores comprimentos de apêndices nas plantas dos tratamentos contaminados.

O diâmetro dos vasos foi maior ($p < 0,05$) nas plantas de *C. xanthocarpa* em experimento de campo, submetidas à contaminação, seguindo a mesma tendência no experimento da estufa. As plantas que cresceram no tratamento contaminado biorremediado apresentaram os maiores diâmetros de vasos. Isto provavelmente, deva-se ao fato da área contaminada biorremediada ter sido submetida à correção de solo com calcário calcítico, durante a biorremediação. Segundo LARCHER (2000), o elemento Ca cumpre também com as funções de regulação da hidratação e do crescimento em extensão, devido ao seu papel de mensageiro secundário, via calmodulina, responde tanto a sinais ambientais quanto hormonais. Contudo, não se pode afirmar que a presença de Ca tenha influenciado nas alterações do diâmetro dos vasos encontrados neste trabalho.

Segundo URBINATI *et al.* (2003) o diâmetro dos vasos é regulado pela taxa de diferenciação celular. Uma alta taxa de diferenciação, resultaria em vasos mais estreitos e, de uma diferenciação mais lenta, resultariam vasos largos. Considerando que as plantas do tratamento 2NC estavam crescendo na sombra o que resultou num crescimento menor, (ver dados de BONA e SANTOS, 2003; MAYER, 2004, nas tabelas 9 e 10), poder-se-ia supor que houve uma taxa de

diferenciação mais lenta e assim o diâmetro dos vasos seriam maiores. Porém o resultado observado neste trabalho foi justamente inverso, os maiores diâmetros de vasos foram encontrados nas plantas que tiveram um maior crescimento, desenvolvidas no tratamento 2C sobre o solo contaminado por petróleo. Neste caso, o diâmetro dos vasos parece ter sido influenciado pela contaminação.

A disponibilidade de água é um dos fatores mais importantes para as plantas. Segundo CARLQUIST (1966); BARAJAS-MORALES (1985); CARLQUIST & HOEKMAN (1985), sua escassez poderia determinar possíveis tendências anatômicas tais como: a diminuição do diâmetro e do comprimento do vaso, do comprimento das fibras e da altura dos raios, e a presença de um maior número de vasos com menores diâmetros. Todas essas características foram observadas por eles em espécies de plantas sob condições xerofíticas. Em função da condição geomórfica, os solos do experimento a campo são hidromórficos ou semi-hidromórficos e poder-se-ia supor que a contaminação induzisse um estresse hídrico por ocupar o lugar da água nos poros do solo. Analisando os resultados deste trabalho sob a ótica da umidade do solo, isto é, ambientes sob condições xéricas (solo contaminado) versus ambientes úmidos (solo não contaminado), seguindo a linha de raciocínio dos autores acima mencionados, seria esperado que tanto o comprimento e o diâmetro dos vasos como o comprimento das fibras, no solo contaminado, fossem menores, ao passo que, o número de vasos ($NV.mm^{-2}$) seria maior. Porém não foi esse o observado, pois o diâmetro dos vasos aumentou e não diminuíram em quase todos os experimentos, com exceção do experimento da estufa de *S. commersoniana* nos tratamentos CA e C. O número de vasos por milímetro quadrado diminuiu e não aumentou, com exceção de um único experimento da estufa de *C. xanthocarpa* no tratamento C; no entanto não se têm dados para comprovar que o petróleo tenha causado uma diminuição da disponibilidade de água no solo, e dessa maneira induzido um

estresse hídrico nas plantas. Pode ser também que o aumento provocado no diâmetro do vaso tenha sido o resultado de uma quantidade maior de água disponibilizada para a planta, devido à presença do óleo no solo. O petróleo penetrando no solo acaba ocupando a porosidade existente, não permitindo a percolação da água, além de ter características hidrofóbicas. Depois de penetrar até certa profundidade, a camada superficial pode ficar com maior disponibilidade de água considerando que o ambiente é hidromórfico (várzea), devido ao selamento dos poros do solo, o que poderia ter resultado num aumento do diâmetro dos vasos. De acordo com ZIMMERMANN (1982), essas diferenças encontradas nos caracteres dos vasos, poderiam ser interpretadas fisiologicamente conforme os parâmetros segurança e eficiência da condução da água. Segundo o autor, os vasos largos são vulneráveis a entupimentos, devida à entrada de ar, mas eficientes condutores, enquanto que vasos estreitos produzem maior segurança para garantir a passagem da água, desde que os números mais altos deles reduzam a área de vasos incapacitada por embolismos. No entanto, estudos mais detalhados do efeito do petróleo no solo são necessários para compreender melhor os seus efeitos sobre o crescimento das plantas.

Cabe ainda salientar que, as plantas de *C. xanthocarpa* e de *S. commersoniana* do experimento do campo, apresentaram a correlação inversa entre diâmetro dos vasos e número de vasos por milímetro quadrado. Os diâmetros dos vasos atingiram no tratamento B1 (contaminado e biorremediado) as maiores médias, em contrapartida, nesse mesmo tratamento, é que os números de vasos por milímetro quadrado foram encontrados em menor quantidade. Resultados semelhantes foram encontrados no tratamento CA (contaminado adubado) em experimento da estufa, para *C. xanthocarpa*. Essa correlação inversa entre diâmetro e número dos vasos foi observada por BAAS (1973) em *Ilex* (Aquifoliaceae); BARAJAS-MORALES (1985) em florestas do

México, e por HELINSKA-RACZKOWSKA (1994) em *Quercus petraea* Liebl.

Neste trabalho, o diâmetro das fibras foi inversamente proporcional ao seu comprimento, isto foi observado para as duas espécies, em todos os tratamentos, de ambos os experimentos. Segundo CARLQUIST (1988), as dimensões das fibras estão sujeitas às interações genotípicas e fenotípicas, pois havendo uma constância do turgor inicial das células do câmbio durante a diferenciação, e sob o efeito de hormônios específicos, a fibra tenderá a crescer em comprimento e/ou em diâmetro. Por outro lado, poderia estar associada ao desenvolvimento da planta, como por exemplo fibras longas em plantas que tiveram um maior crescimento ou fibras com um maior diâmetro em plantas que cresceram menos. Porém, constatou-se que as plantas crescidas nos tratamentos contaminados adubados tiveram maiores valores para o comprimento de fibras, provavelmente devido ao efeito da adubação, enquanto que os tratamentos contaminados sem adubo tiveram maiores valores para o diâmetro das fibras; comparando-se esses resultados com os resultados de BONA e SANTOS (2003); MAYER (2004) para a altura e para o diâmetro do caule dessas mesmas amostras (Tabelas 9 e 10), percebeu-se que houve uma correspondência somente para as plantas submetidas à adubação. Pois essas plantas foram as que mais cresceram, e também alcançaram as maiores medidas dos comprimentos das fibras, mesmo sujeitas à contaminação. Portanto, pode-se concluir que na ausência de adubo, a contaminação por petróleo exerceu influência no comprimento das fibras, de todas as plantas de todos os tratamentos, tornando-as menores e conseqüentemente com maior diâmetro.

Quanto à espessura de parede das fibras, houve uma tendência para que às plantas de *C. xanthocarpa* e de *S. commersoniana* crescidas no campo em solo contaminado por petróleo, estivessem associadas aos maiores valores. Em contrapartida, no experimento da estufa foram encontrados resultados

significativos ($p < 0,05$) para a espessura de parede das fibras, sendo mais espessas as plantas crescidas nos tratamentos não contaminados.

Não obstante, há de se considerar que todos esses resultados observados, estavam passíveis a interações sinérgicas e ou antagônicas entre as características genéticas e ontogenéticas dessas espécies em questão, sob a influência do ambiente no aporte de nutrientes, água, luminosidade, poluição, ataques de insetos e outros agentes. Sobretudo na própria ausência de dados suficientes para compreender os possíveis efeitos causados pela poluição por petróleo, do ponto de vista bioquímico, metabólico e fisiológico, chegando às alterações das estruturas anatômicas.

Por outro lado, esses resultados, também confirmam as características das espécies analisadas, como sendo de ambientes úmidos; principalmente em se tratando de *S. commersoniana*, chegando a grandes porcentagens da ocupação fitossociológica em regiões ribeirinhas nos Estados do Sul. Consideradas pioneiras nas matas ciliares de diversas formações florestais, características e quase que exclusivas das planícies aluviais, onde geralmente se torna a espécie dominante, formando 60% a 80% do estrato contínuo das florestas de galeria (SMITH; DOWNS; KLEIN, 1988). Muito indicado para compor reflorestamentos mistos destinados à recomposição de áreas degradadas ao longo das margens de rios e reservatórios, devido à preferência por solos úmidos e brejosos (LORENZI, 1992).

4.2 RESULTADO E DISCUSSÃO DA ANÁLISE QUÍMICA DE MACRO E MICRONUTRIENTES

Os resultados da análise química dos solos de ambos os experimentos, campo e estufa antes do plantio das mudas de *Campomanesia xanthocarpa* e de *Sebastiania commersoniana*, já foram apresentados no início deste capítulo nas Tabelas (6 e 8) e serão repetidos novamente, aqui nesta seção Tabela (45-A, 45-B) para facilitar a visualização imediata auxiliando nos resultados e na discussão.

TABELA (45-A) – Análise química do solo: tratamentos 2C, 2NC, B1 (campo), para macronutrientes, micronutrientes, pH, alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC) e carbono orgânico (C).

Solo	N	Al	K ⁺	Ca ⁺²	Mg	CTC	Fe	Mn	Cu	Zn	pH	P	C	C/N
	g/Kg	Al ⁺³	-----	Cmol _c	-----	-----	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	CaCl ₂	mg/dm ³	g/dm ³	
Campo		-----	---	/dm ³	---	---								
2C	1,4	2	0,14	2,9	2,7	19,84	703	284	2,4	1,5	4,4	2,4	38,9	28
2NC	2,6	6,5	0,19	1,5	0,9	21,59	110,2	4	1,4	2,3	4,1	2	38,9	15
B1 A	1,2	0	0,22	16,8	2,2	22,92	9,7	74	0,2	1,6	6,4	1,9	29,3	24

Extração : 0,1 M HCl e para N digestão total segundo Kjeldhal. Tratamentos: 2C área contaminada, 2NC área não-contaminada, B1 A área biorremediada alta.

TABELA (45-B) -- Análise química do solo, após a adubação: tratamentos C, NC, CA, NCA (estufa), para macronutrientes, micronutrientes, pH, alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC) e carbono orgânico (C).

Solo	N	Al	K ⁺	Ca ⁺²	Mg	CTC	Fe	Mn	Cu	Zn	pH	P	C	C/N
	g/Kg	Al ⁺³	-----	Cmol _c	-----	-----	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	CaCl ₂	mg/dm ³	g/dm ³	
Estufa		-----	---	/dm ³	---	---								
C	3,2	1,2	0,28	6,8	5,6	23,18	184	253	3,1	30	4,5	6,5	38,3	12
NC	1,1	0	0,21	7,7	6,2	19,91	115,5	19,9	1,6	15,2	5,4	4,6	27,5	25
CA	2,9	2,9	0,32	7,2	4,8	25,42	197	221	3,1	23,2	4,4	7	34,1	12
NCA	1,3	0,4	0,33	8,5	5,9	22,53	212	83	2,1	5,4	4,9	10,1	22,0	17

Extração : 0,1 M HCl e para N digestão total segundo Kjeldhal. Tratamentos: C área contaminada, NC área não-contaminada, CA área contaminada adubada e NCA área não-contaminada adubada.

Os teores de N no experimento do campo (Tabela 45-A) se encontram maiores no solo não contaminado (2NC) do que no solo contaminado (2C). Através da relação C/N, observou-se que os maiores resultados correspondem aos tratamentos contaminado (2C) e contaminado biorremediado (B1), comprovando que há uma maior disponibilidade de N no tratamento não contaminado (2NC) efetivando

uma maior atividade microbiana, mesmo que, o valor de carbono orgânico encontrado em 2NC seja semelhante a 2C.

O teor de Ca teve sua concentração aumentada no tratamento (B1), devido ao efeito da calagem durante o procedimento da biorremediação efetuada naquela área; observa-se que o teor de alumínio foi nulo nas áreas biorremediadas, constatando-se também que nessas mesmas áreas os níveis de carbono sofreram um decréscimo, devido ao aceleração da decomposição através do processo da biorremediação.

Os teores de Fe e Mn, apresentaram-se maiores no solo contaminado do experimento do campo, levando-se em consideração que as altas concentrações destes elementos estão freqüentemente associadas a valores baixos de pH (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1992).

O intervalo do pH apresentado na análise de solos (Tabela 45-A) demonstra uma variação entre (4,1 - 6,4) sendo que, o maior valor pertence à área (B1A), resultado já esperado devido à adição de calcário durante a biorremediação, associado à queda dos teores de Fe, Mn; haja vista que, nesses casos os solos calcários são tamponados em maiores valores de pH e apresentam uma reação neutra ou fracamente básica, onde o nitrogênio é rapidamente mineralizado e os elementos P, Fe, Mn e a maioria dos metais pesados tornam-se menos disponíveis que em solos ácidos (LARCHER, 2000). Considerando ainda neste caso, que o pH ótimo do P, segundo TISTALE *et al.* (1993) seja em torno de 6,5.

No experimento da estufa (Tabela 45-B) os maiores teores de N foram encontrados nos tratamentos contaminados (C e CA), associados aos seus maiores níveis de carbono, em relação aos tratamentos não contaminados. Sendo que, para os teores observados de Mn, e Zn foram maiores nos tratamentos contaminados associados aos menores valores de pH. Quanto ao P e o K, os tratamentos da estufa tiveram seus valores aumentados nos solos que obtiveram acréscimo de adubo, resultado já esperado.

4.2.1 Análise de macro e micronutrientes de folhas de *C. xanthocarpa* no experimento do campo

TABELA (46)- Análise química das folhas de *Campomanesia xanthocarpa* no experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado) e 2NC (solo não contaminado)

Análise Química	N g/Kg	P g/Kg	K g/Kg	Ca g/Kg	Mg g/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg
área 2C	13,26a	0,75a	4,66a	12,10a	2,86a	176,67a	238,33a	16,3a
área 2NC	14,30a	0,95a	5,11a	7,05 b	2,94a	204,33a	139,33b	20 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística mostrou que a diferença dos teores de nitrogênio do solo, foi indiferente para as plantas e que os teores médios de Ca e Mn foram maiores nas plantas crescidas na área contaminada em relação à área não contaminada. Essa maior concentração pode estar refletindo a diferença observada nos solos (Tabela 45-A). O maior teor de Ca ($12,10 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrado nas plantas do tratamento contaminado, no entanto ainda se encontra dentro dos valores ($0,4 - 15 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrados em plantas, segundo LARCHER (2000). Acredita-se que o Ca cumpra com diversas funções dentro da planta, dentre elas a de estar associado à síntese de novas paredes celulares, em especial a lamela média, ao fuso mitótico durante a divisão celular e por ser requerido para o funcionamento normal das membranas vegetais, sendo-lhe atribuído o papel de mensageiro secundário em várias respostas da planta, tanto a sinais ambientais quanto hormonais (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Segundo MENGEL & KIRKBY (1982), os altos teores de Ca nas folhas estão muito mais correlacionados a altas concentrações disponíveis desse elemento no solo do que propriamente a questões da eficiência de absorção do sistema radicial da planta.

O teor médio de Mn ($238,33 \text{ mg.Kg}^{-1}$) também foi maior nas plantas do solo contaminado (2C), embora também se apresentasse dentro dos valores ($3 - 1000 \text{ mg.Kg}^{-1}$), mencionados por LARCHER (2000); e por DRECHSEL & ZECH, (1991),

dentro dos valores (22 – 4000 mg.Kg⁻¹), analisando 37 espécies da Floresta Tropical. O teor também é semelhante ao observado em espécies de três estádios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (200,21 - 285,73 mg.Kg⁻¹) analisadas por BOEGER (2000).

Embora tenham sido observadas essas diferenças nos teores de Ca e Mn entre plantas crescendo em solo contaminado e não contaminado, não se têm dados suficientes para afirmar que essas diferenças sejam devido à presença do petróleo.

4.2.2 Análise de macronutrientes e micronutrientes de caule de *C. xanthocarpa* do experimento de campo

TABELA (47)- Análise química do caule jovem de *C. xanthocarpa* no experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado) , 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado)

Análise	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Al
Química	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
área 2C	8,63 a	5,33 a	5,78 a	18,86 a	1,47 a	452 a	109 ab	50 a	1212 a
área 2NC	7,60ab	7,00 a	4,03 b	15,25 a	1,36 b	322 a	151 a	44 a	850 a
área B1	6,71 b	6,69 a	6,46 a	17,54 a	1,21 b	1855 a	67 b	35 a	3246 a
Coefficiente de variação %	6,3	17,8	8,1	9,2	7,0	93,4	20,0	24,6	66,6

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística mostrou que os teores médios de N, K, Mg e Mn diferem estatisticamente ($p < 0,05$) entre dois dos três tratamentos do campo (Tabela 47). Para o teor de N a diferença está entre o tratamento contaminado com a maior média (8,63 g.Kg⁻¹) e o tratamento B1 (6,71 g.Kg⁻¹), sendo que, essa maior concentração pode estar refletindo a diferença observada na quantidade de matéria orgânica do solo (Tabela 45-A).

Os resultados encontrados para os teores médios de N no caule jovem das plantas de *C. xanthocarpa* nos três tratamentos do campo, são inferiores aos teores médios de N encontrados nas folhas das mesmas. Segundo LARCHER (2000), em

uma mesma planta, as folhas e os tecidos corticais apresentam os maiores valores no conteúdo de nutrientes reciclados do meio, enquanto que os órgãos lenhosos, os menores valores; sendo que nas folhas, os elementos preferencialmente encontrados são N, P, Ca, Mg e S, e nas flores e nos frutos são acumulados preferencialmente K, P e S; na casca e tronco contêm relativamente mais Ca e Mn e o lenho de algumas espécies arbóreas tropicais acumula Si e Al.

O menor teor médio de K ($4,03 \text{ g.Kg}^{-1}$), foi encontrado no lenho das plantas da área não contaminada, diferindo das demais áreas, ainda que esses teores encontrados nos três tratamentos do campo, estejam muito acima dos valores encontrados nos caules das seguintes espécies submetidas à contaminação por resíduos oleosos de petróleo: *Tabebuia chrysotricha*, *Schinus therebinthifolius*, *Casuarina equisetifolia*, cujos teores médios foram respectivamente de ($0.71 - 0.47 - 0.49 \text{ g.Kg}^{-1}$) em SOUZA (1999).

Muito embora, o conteúdo médio dos elementos minerais (em g.Kg^{-1} Matéria seca) no solo e na fitomassa de plantas terrestres varie de acordo com a espécie, família, ou pela locação preferencial de determinados órgãos ou, ainda, pelo estágio de desenvolvimento do vegetal (WARING & SCHLESINGER, 1985).

De acordo com EPSTEIN (1975), os limites de valores de K encontrados nas plantas variam entre ($1 - 70 \text{ g.Kg}^{-1}$), ao passo que suas verdadeiras necessidades estariam supridas dentro dos limites ($5 - 20 \text{ g.Kg}^{-1}$). Além disso, o K é de fácil translocação de órgãos maduros para os mais jovens, dentro da planta (MENDEL & KIRKBY, 1982; TAIZ & ZEIGER, 2004).

O resultado ($1,47 \text{ g.Kg}^{-1}$) do teor médio de Mg obtido no tratamento 2C está bastante próximo ao encontrado por SOUZA (1999) em *Casuarina equisetifolia* presentes no solo contaminado por resíduos oleosos de petróleo; entretanto para a testemunha do mesmo experimento o valor médio encontrado para *Casuarina equisetifolia* foi de ($0,77 \text{ g.Kg}^{-1}$), estando bem abaixo da média ($1,36 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrada em *C. xanthocarpa* no tratamento não contaminado deste experimento.

O teor médio de Mn (151 mg.Kg^{-1}) da área não contaminada foi maior em

relação ao teor encontrado na área biorremediada (67 mg.Kg^{-1}). Segundo MALAVOLTA (1980) o Mn é o segundo elemento mais abundante no solo, só perdendo para o Fe, porém se ocorrer à elevação do pH do solo, conseqüentemente diminui a concentração desse elemento na solução do solo; vindo de encontro aos resultados obtidos neste experimento para o tratamento B1 (área biorremediada) com conseqüente elevação do pH e analogamente com o menor valor médio de Mn.

4.2.3 Análise de macro e micronutrientes de folhas de *C. xanthocarpa* no experimento de estufa

A apresentação das análises químicas do experimento de estufa está na Tabela (48) abaixo:

TABELA (48) - Análise química das folhas de *Campomanesia xanthocarpa* no experimento em estufa dos tratamentos C (contaminado), NC (não contaminado), CA (contaminado adubado), NCA (não contaminado adubado)

Análise Química	N g/Kg	P g/Kg	K g/Kg	Ca g/Kg	Mg g/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg
Tratamento C	9,52a	0,78a	8,34a	9,99 a	2,61a	183 a	464,3ab	273,3 a
Tratamento NC	6,53a	2,63b	8,16a	10,54a	2,90a	290,3 a	244 a	299,3 a
Tratamento CA	5,43a	1,79b	8,40a	11,35a	2,94a	252,9 a	562,3 b	365,3 a
Tratamento NCA	9,44a	4,1 c	8,82a	11,52a	3,44a	292,7 a	332 ab	314,7 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística mostrou que os teores médios de P e Mn foliares apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) nos tratamentos (Tabela 48). O maior teor de P ($4,1 \text{ g.Kg}^{-1}$) observado nas folhas de *C. xanthocarpa* no tratamento não contaminado sugere que as plantas crescendo no solo contaminado, cujo menor teor médio foi de ($0,78 \text{ g.Kg}^{-1}$), podem estar tendo dificuldades na absorção deste elemento. Ou que a concentração de P nas plantas submetidas ao estresse da contaminação esteja sendo maior do que nas plantas não contaminadas, supondo que aquelas consumam mais energia nos seus processos metabólicos

(CHUPAKHINA & MASLENNIKOV, 2004). Pois segundo MALAVOLTA (1980) além da função estrutural do fósforo como fosfolípidos de membrana, também detém a função de armazenamento e fornecimento de energia na forma de trifosfato de adenosina (ATP).

Considerando que o solo não contaminado, contém, uma concentração relativamente maior de Mg (Tabela 45-B), não se pode descartar a hipótese de um efeito sinérgico deste sobre a absorção do P (LARCHER, 2000).

Os teores de Mn do experimento da estufa, apresentaram-se maiores nas plantas crescidas nos tratamentos contaminados em relação aos não contaminados. Essa maior concentração pode estar refletindo a diferença observada nos solos, (Tabela 45-B).

4.2.4 Análise de macronutrientes e micronutrientes do caule de *C. xanthocarpa* do experimento de estufa

TABELA (49)- Análise química do caule de *C. xanthocarpa* do experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado) e NC (solo não contaminado).

Análise Química	N g/Kg	P g/Kg	K g/Kg	Ca g/Kg	Mg g/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg	Al mg/Kg
Tratamento C	5,78 a	6,17 b	6,66 a	14,07 a	1,38 a	363 a	215 a	374 a	526 a
Tratamento NC	5,24 a	11,08 ab	6,21 a	12,81 a	1,27 a	365 a	116 b	278 a	1173 a
Tratamento CA	5,97 a	12,17 a	6,29 a	13,50 a	1,36 a	350 a	214 a	399 a	410 a
Tratamento NCA	5,13 a	10,92 ab	5,27 a	14,19 a	1,34 a	351 a	118 b	327 a	526 a
Coefficiente de variação %	6,8	21,2	10,8	17,3	11,6	11,0	20,2	16,8	76,8

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística mostrou que os teores médios de P e Mn do caule de *C. xanthocarpa* diferem estatisticamente ($p < 0,05$) entre os tratamentos da estufa. Conforme os resultados expostos (Tabela 49) o P apresentou a maior variação entre os tratamentos contaminados, onde seu menor teor médio foi de ($6,17 \text{ g.Kg}^{-1}$) para o tratamento contaminado, e o maior teor foi de ($12,17 \text{ g.Kg}^{-1}$) para o tratamento

contaminado adubado, provavelmente esse aumento tenha sido ocasionado pela adubação.

Nas regiões tropicais e subtropicais, em especial no Brasil, o P é o elemento cuja escassez no solo pode chegar a limitar a produção anual decorrente das práticas agrícolas, pois se encontram teores baixos de P disponível em cerca de 90% das análises de solo feitas, isto é, são encontradas quantias menores do que 10 ppm (MALAVOLTA, 1980), restando como alternativa a adubação. Associada a essa dificuldade, as mudanças sazonais e as chuvas também podem comprometer o conteúdo de nutrientes através da lixiviação na superfície das folhas. Segundo WARING & SCHLESINGER (1985), o P ocupa o segundo lugar nas perdas por lixiviação, conforme o gradiente: $K > P > N > Ca$, só perdendo para o K que é altamente solúvel e especialmente concentrado em células próximas à superfície da folha tornando-se bastante suscetível.

Os valores elevados dos teores médios de Mn estão nos tratamentos contaminados por petróleo, sendo que essa maior concentração pode estar refletindo a diferença observada nos solos (Tabela 45-B), ou que esteja associada à própria contaminação, sugerindo que a planta em situação de estresse, necessite de uma maior quantidade desse elemento; uma vez que, uma das funções do Mn é participar da liberação fotoquímica do O_2 efetuada pelos cloroplastos; a outra é a redução do nitrato (fazendo parte da enzima redutase de nitrito); e na defesa contra doenças (principalmente fúngicas) através da lignificação e da biossíntese de fenóis solúveis (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Quando se compara o resultado encontrado, entre as folhas e o caule jovem de *C. xanthocarpa* do experimento da estufa, observa-se que a variação se deu em ambos os casos entre os teores de P e Mn, enquanto que para o experimento do campo a quantidade de elementos que variou foi muito maior, haja vista que nas folhas houve a variação dos teores de Ca e Mn, e no caule variaram os teores de N, K, Mg e Mn.

Uma provável razão para isso, talvez se deva pelo fato de que para o

experimento da estufa, supostamente melhor controlado em relação às condições de umidade e de luminosidade, sendo que, as variáveis perceptíveis que atuaram para a variação dos teores de nutrientes foram: a contaminação, a adubação, as características químicas do solo do experimento, e as características genéticas das plantas interagindo nessas condições. Enquanto que para o experimento do campo, com exceção da adubação, e da diferença de luminosidade para as plantas dos tratamentos 2C e 2NC, acrescentar-se-ia a todas as variáveis já mencionadas anteriormente às geadas, o ataque de insetos, o possível estresse hídrico devido à contaminação, o ar poluído exalado da refinaria, o manejo efetuado em determinadas áreas para a biorremediação, e uma série de elementos presentes na composição do petróleo ainda não avaliados quanto aos seus efeitos e as possíveis interações com essas espécies analisadas.

4.2.5 Análise dos macronutrientes e micronutrientes das folhas de *S. commersoniana* do experimento de campo

TABELA 50 - Análise química das folhas de *S. commersoniana* do experimento de campo nas áreas 2C (contaminada) e 2NC (não contaminada)

Análise Química	N g/Kg	P g/Kg	K g/Kg	Ca g/Kg	Mg g/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg	Al mg/Kg
área 2C	21,68 a	8,67 a	5,21 b	9,30 a	2,47 a	185 a	260 a	25 a	208 a
área 2NC	21,57 a	16,58 a	6,55 a	10,61 a	1,87 b	77 b	177 a	21 a	237 a
Coefficiente de variação %	9,1	53,4	7,9	14,9	7,2	26,4	38,0	31,7	2,1

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística mostrou, que embora, os teores médios de P não serem significativamente distintos, são relativamente altos comparados às espécies mencionadas por BOEGER (2000) e por SOUZA (1999), e que os teores médios de K, Mg e Fe diferem estatisticamente entre os dois tratamentos do campo. O teor médio de K foi maior nas plantas crescidas na área não contaminada em relação à

área contaminada. Sendo que o maior teor de K ($6,55 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrado nas plantas do tratamento não contaminado ainda se encontra dentro dos valores ($3,5 - 7,2 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrados em Florestas Tropicais úmidas (VITOUSEK & SANFORD, 1986), um pouco abaixo da média, quando comparadas às 12 espécies analisadas na Caatinga (SOBRADO & MEDINA, 1980) cujo valor médio foi de ($8,95 \text{ g.Kg}^{-1}$), e distinto do resultado do teor médio foliar de ($11,33 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrado em *Acacia mearnsii* por CALDEIRA *et al.* (2000).

Ao passo que, o menor teor médio de K ($5,21 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrado nas plantas do tratamento contaminado está próximo à média ($5,24 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrada em 11 espécies de estágio sucessional avançado da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas por BOEGER (2000), e também a 9 espécies da Restinga paludosa e a 19 espécies pesquisadas na Restinga seca por BRITZ (1994).

A absorção do K pelas plantas está relacionada com a sua disponibilidade no solo, forma solúvel, trocável, fixado na rede cristalina ou incorporado à matéria orgânica (SOUZA, 1999). Segundo RAIJ (1991) a maior absorção ocorre durante a fase de crescimento vegetativo; restando saber se a contaminação está intervindo nessa absorção, uma vez que o K exerce nas plantas as funções de ativação enzimática, síntese protéica, fixação de CO_2 durante o processo fotossintético, responsabilidade pela turgescência através do potencial osmótico, transporte floemático, balanço hídrico, movimentação estomática (MARSCHNER, 1995) e no controle do pH (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O maior teor de Mg ($2,47 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrado nas plantas do tratamento contaminado no entanto ainda se encontra dentro dos valores ($1,4 - 3,6 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrados em Floresta Tropical úmida (VITOUSEK & SANFORD, 1986); abaixo dos resultados ($2,9 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrados em espécies da Restinga paludosa, e muito próximo à média ($2,5 \text{ g.Kg}^{-1}$) em espécies da Restinga seca (BRITZ, 1994); sendo bastante inferiores às médias encontradas em três estágios sucessionais de espécies da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas por BOEGER (2000).

O resultado encontrado (185 mg.Kg^{-1}) para o teor médio de Fe nas folhas

estressadas do tratamento contaminado é superior ao teor médio encontrado em folhas estressadas de *Ilex paraguariensis* St. Hil., atacadas pela broca-da-erva-mate *Hedypathes betulinus*, cujo valor foi de (114,40 mg.Kg⁻¹), segundo BORSOI & COSTA (2001), há exemplos de alterações nutricionais, provocadas por fatores ambientais, que favorecem o ataque de pragas, enquanto outros apresentam correlação positiva entre o bom suprimento nutricional e o aumento do ataque de insetos.

O ferro se encontra disponível na solução do solo principalmente como Fe³⁺, Fe²⁺ e quelatizado, sendo que a maior parte se encontra insolúvel como Fe³⁺ não absorvível pelas raízes. Entretanto, as plantas desenvolveram estratégias para adquiri-lo, processo que se dá através da formação dos agentes quelantes, compostos quase sempre orgânicos unidos a um metal (Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Ni), desta forma os quelados tornam-se solúveis para as mesmas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Outro aspecto importante que deve ser considerado em relação à absorção do Fe é devido à influência que outros cátions exercem sobre o mesmo, entre eles o Ca (através da clorose induzida por calcário, do aumento do pH, corroborando com sua insolubilidade), Mg, Cu, Zn e principalmente a de Mn, devido a sua alta concentração em solos ácidos pode inibir competitivamente a absorção do ferro causando sintomas de deficiências nas plantas (MALAVOLTA, 1980) como a clorose internervura que aparece inicialmente nas folhas mais jovens porque o ferro não pode ser prontamente mobilizado das folhas mais velhas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

É importante lembrar, que essa maior concentração do Fe nas plantas crescidas no tratamento contaminado, pode estar refletindo a diferença observada nos solos, (Tabela 45-A). CHABOUSSOU (1999), salienta que a avaliação nutricional da planta, deve ser feita pela análise química das folhas. Elas nos dão a situação nutricional atual da planta. Já que, o solo sofre vários processos de trocas e reduções que dificultam a interpretação dos resultados.

4.2.6 Análise de macro e micronutrientes do caule de *S. commersoniana* do experimento do campo

TABELA 51 - Análise química do caule de *S. commersoniana* do experimento do campo para as áreas 2C (solo contaminado), 2NC (solo não contaminado) e B1 (solo contaminado e biorremediado).

Análise	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Al
Química	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
área 2C	6,51 a	2,92 a	5,27 a	3,74 b	0,71 ab	72 b	138 a	15 a	92 b
área 2NC	6,84 a	5,92 a	4,48 a	5,38 a	0,86 a	178 a	141 a	23 a	358 a
área B1	6,51 a	3,67 a	4,59 a	5,64 a	0,58 b	111 ab	24 b	15 a	328 a
Coefficiente de variação %	9,4	33,6	12,2	12,6	13,10	30,02	14,10	18,5	26,2

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística mostrou que os teores médios de Ca, Mg, Fe, Mn e Al diferem estatisticamente entre os tratamentos do campo (Tabela 51). O menor teor de Ca ($3,74 \text{ g.Kg}^{-1}$) foi encontrado nas plantas da área contaminada, ao passo que, os maiores teores médios de Ca ($5,38 - 5,64 \text{ g.Kg}^{-1}$) pertencem às áreas não contaminada e biorremediada respectivamente, no entanto ainda se encontra dentro dos valores ($0,4 - 15 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrados em plantas, segundo LARCHER (2000).

De acordo com MALAVOLTA (1980), o cálcio é absorvido pelas raízes como Ca^{+2} , e sua absorção pode ser diminuída por altas concentrações de K^{+} e de Mg^{+2} no meio; hipótese essa aceita para este estudo, pois o teor mais elevado de Mg do solo (Tabela 45-A) e o teor de K nas plantas (Tabela 51) encontraram-se na área contaminada, e podem ter afetado a absorção de Ca.

Outra possibilidade a ser considerada é a de que os efeitos da contaminação possam levar a alterações em níveis constitucionais da parede das células, à medida que, a maior proporção de Ca na planta encontra-se em formas não solúveis em água, ao contrário do que acontece com o K; essa parte não solúvel do Ca geralmente está envolvida no processo de lignificação, na constituição da lamela média em forma de pectato de cálcio causando rigidez na parede celular, (MALAVOLTA ; VITTI; OLIVEIRA, 1997) e segundo KRAMER & KOZLOWSKI (1972) o cálcio influencia manifestadamente a elasticidade da parede celular.

É importante lembrar que o maior teor de Ca foi encontrado nas plantas da

área biorremediada, que foi corrigida com calcário, vindo a confirmar mais uma de suas importantes funções: a de atuar como transportador de íons para dentro das paredes das células através do córtex, podendo assim corrigir o efeito desfavorável da concentração hidrogeniônica excessiva, ao alterar o pH do solo (BAUCH, 1983).

O maior teor de Mg ($0,86 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrado nas plantas do tratamento não contaminado difere estatisticamente do menor teor de Mg ($0,58 \text{ g.Kg}^{-1}$) em plantas da área biorremediada, sendo que essa menor concentração pode estar associada à presença elevada do teor de Ca proveniente da adição de calcário calcítico nessa área.

Os teores de Fe e de Mn encontrados no caule de *S. commersoniana*, apresentaram uma grande variação nos tratamentos do campo, e não refletiu as diferenças observadas nos solos (Tabela 45-A).

O menor teor de Al (92 mg.Kg^{-1}) foi encontrado nas plantas do tratamento contaminado, ao passo que os maiores teores de Al ($328 - 358 \text{ mg.Kg}^{-1}$) encontram-se nos tratamentos biorremediado e não contaminado respectivamente, no entanto ainda se encontram dentro dos valores ($40 - 500 \text{ mg.Kg}^{-1}$) mencionados por LARCHER (2000). Os resultados deste estudo para os teores de Al estão próximos aos valores encontrados por SOUZA (1999), que trabalhou com solos com borra de petróleo na mesma área, pois em ambos os trabalhos os menores teores de Al foram encontrados em solo contaminado por petróleo.

Lembra MARSCHNER (1995) que o crescimento das plantas pode ser limitado por uma variedade de fatores ou pela interação dos mesmos, sendo que essa limitação pode ser evidenciada na presença de solos ácidos, que geralmente se desenvolvem em climas úmidos, através do excesso de Al hidrolisado pela água, e a sua conseqüente toxidez para as plantas, muito embora, hajam muitas espécies adaptadas. Acrescenta KRAMER & KOZLOWSKI (1972), que em solos muito ácidos boa parte dos prejuízos para as plantas, são sem dúvida, provocados pelo aumento da solubilidade do alumínio.

4.2.7 Análise de macro e micronutrientes das folhas de *S. commersoniana* do experimento em estufa

TABELA 52 - Análise química das folhas de *S. commersoniana* do experimento de estufa nos tratamentos C (contaminado), NC (não contaminado), CA (contaminado adubado) e NCA (não contaminado adubado).

Análise Química	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Al
	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
Tratamento C	22,41 a	19,67 a	8,84 a	15,50 a	1,66 b	523 a	1126 a	551 a	439 a
Tratamento NC	22,84 a	19,00 a	9,04 a	16,56 a	2,42 ab	538 a	1153 a	386 ab	405 a
Tratamento CA	20,29 a	17,42 a	9,81 a	14,78 a	2,33 ab	477 a	890 ab	336 b	295 a
Tratamento NCA	20,73 a	16,92 a	8,70 a	17,21 a	2,88 a	433 a	785 b	398 ab	367 a
Coefficiente de variação %	8,2	10,6	9,1	7,3	11,7	14,0	12,9	17,7	15,4

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística mostrou que os teores médios de Mg, Mn e Zn diferem estatisticamente entre os tratamentos da estufa (Tabela 52). O menor teor de Mg ($1,66 \text{ g.Kg}^{-1}$) foi encontrado nas plantas do tratamento contaminado, enquanto o maior teor de Mg ($2,88 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrou-se no tratamento não contaminado adubado, no entanto ainda assim se encontra dentro dos valores ($0,7 - 9 \text{ g.Kg}^{-1}$) mencionados por LARCHER (2000); e por VITOUSEK & SANFORD (1986), entre os valores ($1,4 - 3,6 \text{ g.Kg}^{-1}$) encontrados em espécies arbóreas da Floresta Tropical úmida; estando abaixo dos resultados obtidos em 9 espécies da Restinga paludosa, e semelhante aos teores médios encontrados em espécies da Restinga seca (BRITEZ, 1994).

Em relação às espécies analisadas em três estádios sucessionais pertencentes à Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas por BOEGER (2000), somente o terceiro estágio com o teor ($2,84 \text{ g.Kg}^{-1}$) se apresentou próximo ao teor encontrado no tratamento não contaminado adubado, deste experimento.

Nas células vegetais, os íons Mg^{2+} têm um papel específico na ativação de

enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese, síntese de DNA e RNA e por ocupar o centro da estrutura planar da clorofila, formada por um anel tetrapirrólico, onde cerca de 10% do Mg total da folha está na clorofila, de cujo peso representa 2,7% (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Como acontece com o K, o magnésio também possui grande mobilidade no floema, de modo que os sintomas típicos de carência (clorose internerval) começam a aparecer nas folhas mais velhas (TAIZ & ZEIGER, 2004).

O maior teor de Mn (1153 mg.Kg^{-1}) encontrado nas plantas crescidas no tratamento contaminado não adubado, no entanto ainda se encontra dentro dos valores ($22 - 4000 \text{ mg.Kg}^{-1}$) encontrados em 37 espécies arbóreas analisadas da Floresta Tropical (DRECHSEL & ZECH, 1991); abaixo da média ($1968,7 \text{ mg.Kg}^{-1}$) encontrada para a espécie *Ilex paraguariensis* (erva-mate) da Floresta Ombrófila Mista, estudada por REISSMANN *et al.* (1983); e bastante acima das médias das espécies pertencentes aos três estádios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, as quais tiveram seus valores entre ($200,21$ a $285,73 \text{ mg.Kg}^{-1}$) estudadas por BOEGER (2000).

Conforme KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1992) deveria ser enfatizado que o conteúdo de Mn nas plantas não só é um efeito de suas características, como também do estoque disponível de Mn que é altamente controlado através das propriedades do solo.

Os teores médios de Zn encontrados nas folhas das plantas jovens de *S. commersoniana* estão muito acima dos valores ($9 - 101 \text{ mg.Kg}^{-1}$) encontrados por DRECHSEL & ZECH, (1991) em 37 espécies da Floresta Tropical; e também acima dos valores mencionados por LARCHER (2000), onde os teores de Zn nas plantas, segundo ele variariam entre ($1 - 400 \text{ mg.Kg}^{-1}$).

Essa maior concentração do teor de Zn (551 mg.Kg^{-1}) encontrado no tratamento C, contaminado sem adubo, pode estar refletindo a diferença observada nos solos (Tabela 45-B); como também pode estar associado à contaminação por petróleo e à ausência do adubo naquele tratamento; a menor média para o Zn (336

mg. Kg⁻¹) foi encontrada em CA, contaminado adubado, neste caso, uma das possíveis justificativas seria devido à 'deficiência induzida pelo fósforo', pois é conhecido que altos níveis de fósforo no meio (solo ou solução nutritiva) causam diminuição na absorção do zinco (MALAVOLTA, 1980).

4.2.8 Análise de macro e micronutrientes do caule de *S. commersoniana* do experimento de estufa

TABELA 53 - Análise química do caule de *S. commersoniana* do experimento da estufa nos tratamentos CA (solo contaminado adubado), NCA (solo não contaminado adubado), C (solo contaminado) e NC (solo não contaminado).

Análise Química		N g/kg	P g/Kg	K g/Kg	Ca g/Kg	Mg g/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg	Al mg/Kg
Tratamento	C	6,89 ab	13,33 a	7,79 a	3,77 a	0,87 a	196 ab	153 a	95 a	415 ab
Tratamento	NC	6,48 ab	11 42 a	7,54 a	3,54 a	0,89 a	89 b	149 ab	54 b	125 b
Tratamento	CA	8,33 a	13,33 a	9,35 a	4,02 a	0,86 a	242 a	180 a	84 ab	164 b
Tratamento	NCA	5,59 b	14,67 a	6,64 a	2,99 a	0,67 a	201 ab	87 b	49 b	531 a
Coefficiente de variação %		12,5	14,1	15,0	21,3	15,4	26,6	17,1	21,7	37,9

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A análise estatística mostrou que os teores médios de N, Fe, Mn, Zn e Al diferem estatisticamente entre os tratamentos do experimento da estufa, (Tabela 53). O maior teor de N (8,33 g.Kg⁻¹) encontrado no caule jovem das plantas crescidas no tratamento CA, contaminado adubado, no entanto não se enquadram dentro dos valores (12 – 75 g. Kg⁻¹) apresentados por LARCHER (2000); porém semelhante ao teor médio de N (8,00 g.Kg⁻¹) encontrado em *Acácia mearnsii*, (com dois anos e quatro meses de idade) pesquisada por CALDEIRA *et al.* (2000). O menor teor de N (5,59 g.Kg⁻¹) foi encontrado nas plantas crescidas no tratamento NCA, não contaminado adubado. Essas diferentes concentrações podem estar refletindo as diferenças observadas entre os dois tratamentos do solo (Tabela 45-B), CA e NCA, tanto para o teor de N, quanto para a quantidade de carbono. Outra questão a ser considerada é a de que nas plantas o nitrogênio é absorvido iônica e com gasto

de energia (por consequência, dependente da respiração); e supondo-se que a presença do petróleo derramado no solo dificultasse o processo da respiração, poderia então ser um indicador da menor disponibilidade de N a presença do petróleo derramado, uma vez que, as plantas sobre solos estressados ou mal arejados freqüentemente sofrem deficiência de nitrogênio (LARCHER, 2000), muito embora isso não tenha ocorrido neste caso.

O maior teor de Fe (242 mg.Kg^{-1}) encontrado nas plantas do tratamento CA, contaminado adubado, no entanto ainda se encontra dentro dos valores ($2 - 700 \text{ mg.Kg}^{-1}$) mencionados por LARCHER (2000); e bastante acima do que o teor de Fe ($71,67 \text{ mg.Kg}^{-1}$) encontrado por CALDEIRA *et al.* (2000) em *Acácia mearnsii*, sendo que esta média encontrada por esse pesquisador se assemelha ao menor teor de Fe (89 mg.Kg^{-1}) encontrado no tratamento NC, não contaminado deste experimento.

Os maiores teores de Mn e de Zn encontraram-se nos tratamentos contaminados, portanto é provável que essas altas concentrações possam estar refletindo as diferenças observadas nos solos (45-B) entre outras possibilidades.

Os teores médios de Al apresentaram uma grande variação entre os quatro tratamentos, tornando-se muito difícil correlacioná-los com a adubação e ou contaminação, e com o solo de origem (Tabela 45-B). Seguindo a sugestão da utilização da relação Ca / Al , proposta por BAUCH (1983), no tratamento NCA, apesar de ter sido baixo o resultado, ainda assim é superior à unidade.

Como já foi mencionado anteriormente, é esperada uma maior variação nos resultados dos experimentos do campo, devido a maior abrangência de fenômenos, que, além da contaminação, possam estar interagindo concomitantemente. A exemplo de *C. xanthocarpa* no campo, suas folhas apresentaram maiores teores médios de Ca e Mn em solo contaminado; enquanto que o caule apresentou maiores teores médios de K e de Mg.

Para as folhas *S. commersoniana* no campo, os maiores teores encontrados foram Mg e Fe em solo contaminado, enquanto que o caule apresentou teores menores de Ca, Fe e Al.

Em relação aos experimentos da estufa, relativamente melhor controlados, muito embora a variação de temperatura tenha sido ampla (Anexo 1), há de se considerar a intervenção da adubação nos respectivos tratamentos, mas sobretudo sem perder de vista o caráter da contaminação versus a não contaminação. Quanto às folhas de *C. xanthocarpa* da estufa crescidas em solo contaminado apresentaram médias inferiores para o P, e mantiveram as maiores médias para o Mn. Entretanto os resultados do caule mostram que o teor médio de P nas plantas que cresceram em solo contaminado sob a intervenção da adubação fica mais elevado em relação aos baixos valores de P em plantas somente sob o efeito da contaminação com ausência de adubo.

As folhas de *S. commersoniana* no experimento da estufa não apresentaram grandes variações em sua análise nutricional, ao passo que, os caules originados das plantas crescidas em solo contaminado, mantiveram as maiores médias para o Fe, Mn, Zn.

5 CONCLUSÕES

As análises quantitativas anatômicas de *Campomanesia xanthocarpa* e *Sebastiania commersoniana*, sob o efeito da contaminação, revelaram alterações significativas em sua estrutura.

O comprimento dos vasos de ambas as espécies, que cresceram em solo contaminado, apresentou a tendência de ser menor em relação às plantas do solo não contaminado.

O número de vasos por milímetro quadrado de ambas as espécies, foi significativamente menor, nas plantas que cresceram em solo contaminado, ao passo que, o diâmetro dos vasos tendeu a ser maior nessas mesmas condições.

As plantas de *Campomanesia xanthocarpa* do experimento da estufa, crescidas nos tratamentos não contaminados adubados, apresentaram as maiores medidas para os apêndices dos elementos de vasos.

Em plantas de *Sebastiania commersoniana* cultivadas na estufa, as maiores mensurações da espessura de parede das fibras, corresponderam aos tratamentos não contaminados e adubados.

Através da análise qualitativa, foram observadas as presenças de grandes máculas medulares no xilema secundário de *Sebastiania commersoniana*, cultivadas em áreas contaminadas por petróleo no campo. Raríssimas amostras de *Campomanesia xanthocarpa* apresentaram pequenas máculas, nessas mesmas condições.

As máculas encontradas em *Sebastiania commersoniana* continham grande quantidade de grânulos de amido, e estavam envoltas por faixas mais espessadas de lignina.

Os resultados dos testes microquímicos para evidenciar amido, compostos fenólicos, e lignina foram bastante satisfatórios, para comparar as amostras de plantas das áreas contaminadas com as plantas das áreas não contaminadas.

A distribuição dos grânulos de amido foi maior e mais homogênea em todo o xilema das plantas não contaminadas de *Campomanesia xanthocarpa* e de *Sebastiania commersoniana*.

A presença de compostos fenólicos sobre os grânulos de amido, foi mais acentuada nas amostras de áreas contaminadas, comparadas as não contaminadas.

Faixas espessadas de lignina, provenientes de paredes celulares, que envolviam as máculas medulares de *Sebastiania commersoniana*, foram observadas nas amostras de áreas contaminadas, comparadas as não contaminadas.

As mudas do campo apresentaram características, tais como a presença de máculas em *Sebastiania commersoniana*, abundância de cristais no floema em *Campomanesia xanthocarpa*, que comprovam a maior suscetibilidade ao estresse nesse ambiente.

Os resultados, do estado nutricional, mostraram que as plantas dos tratamentos contaminados, tiveram os menores teores de P; em contrapartida, os teores de Mn e de Fe tenderam a ser maiores.

Os efeitos da adubação dificultaram a compreensão do estado nutricional das plantas das áreas contaminadas; o mesmo acontecendo com a biorremediação, observou-se que as plantas em determinados momentos tinham o comportamento semelhante às de áreas contaminadas, ao passo que o inverso também se deu.

É também importante mencionar que por mais próximas que fossem as áreas escolhidas para a montagem dos experimentos do campo, as análises químicas de cada área mostravam diferenças marcantes em teores de nutrientes nos solos correspondentes.

A insuficiência de dados das possíveis interferências provocadas pelo petróleo derramado, devido a sua constituição, também gerou dificuldade na identificação da origem de determinados elementos, encontrados na biomassa das plantas contaminadas, isto é, eram provenientes do solo, do petróleo, do efeito da biorremediação ou do sinergismo?

Muitas variáveis analisadas ficaram bastante próximas do limite de significância

estatística ($p < 0,05$), é bastante provável que se a amostra fosse maior pudesse quem sabe abranger também esses dados.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v.28, n.4, p.775-783, 2004.
- ADAM, G.; DUNCAN, H. J. Effect of diesel fuel on growth of selected plant species. **Environmental Geochemistry and Health**. Scotland: Kluwer Academic Publishers. v.21, p. 353-357, 1999.
- ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. **IAWA Journal**, v.21, n.1, p. 3-30, 2000.
- ALVES, V. **Análise dos efeitos dos poluentes de fábrica de cimento em plantas bioindicadoras: *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) e *Zinnia elegans* Cav. (Asteraceae)**. Curitiba, 2001. 85 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade federal do Paraná.
- BAAS, P. The wood anatomical range in *Ilex* and its ecological and phylogenetic significance. **Blumea** 21, p. 193- 258.
- BAAS, P. Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy. History and perspectives. In: BAAS, P. (Ed.). **New perspectives in wood anatomy**. Nijhoff/Junk Publishing., The Hague, 1982. 23-58 p.
- BAAS, P.; WERKER, E.; FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. **IAWA Bulletin** n.s., v.4, n. (2-3), p. 141-159, 1983.
- BAAS, P.; CARLQUIST, S. A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of southern California and Israel. **IAWA Bulletin** n.s., v.6, n.4, p.349-353, 1985.
- BAAS, P.; MILLER, R.B. Functional and ecological wood anatomy some introductory comments. **IAWA Bulletin** n.s., v.6, n.4, p. 281-282, 1985.
- BAKER, J. M. The effects of oils on plants. **Environmental Pollution**. England: Elsevier Publishing Company Ltd. v.1, p. 27-44, 1970.
- BARAJAS-MORALES, J. Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. **IAWA Bulletin** n.s., v.6, n.4, p. 355-364, 1985.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Química da madeira**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1985. 125 p.
- BARROSO, G. M. **Sistemática de Angiospermas do Brasil**. v.2 Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- BARROTO DO CARMO, M. B.; MORELLATO, L. P. C. Fenologia de árvores e arbustos das matas ciliares da Bacia do Rio Tibagi, Estado do paraná, Brasil. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F. (Ed.). **Matas ciliares: conserva o e recupera o**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2001. 125-141 p.

BAUCH, J. Biological alterations in the stem and root of fir and spruce due to pollution influence. In: ULRICH, B.; PANKRATH, J. (Ed.). **Effects accumulation of air pollutants in forest ecosystems**. Holland: D. Reidel publishing Company, 1983. 377-386 p.

BAUCH, J. Characteristics and response of wood in declining trees from forests affected by pollution. **IAWA Bulletin** n.s., v.7, n.4, p.269-276, 1986.

BAUMAN, B. J. Soils contaminated by motor fuels: research activities and perspectives of the American Petroleum Institute. In: KOSTECKI, P. T.; CALABRESE, E. J. (Ed.). **Petroleum contaminated soils: remediation techniques, environmental fate, risk assessment**. Michigan: Lewis Publishers, INC, 1989. v. 1, p. 3-19.

BELL, P.R. **Green plants: their origin and diversity**. New York:Cambrige University Press, 1992. 315 p.

BERLYN, G. P.; MIKSCH, J. P. **Botanical microtechnique and cytochemistry**. Iowa: Iowa University, 1976. 326 p.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M. E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v.23, n.3, p.737-744, 1999.

BHAT, K. M.; BHAT, K. V.; DHAMODARAN, T. K. Fibre length variation in stem and branches of eleven tropical hardwoods. **IAWA Bulletin** n.s., vol10, n.1, p.63-70, 1989.

BOEGER, M. R. T. **Morfologia foliar e aspectos nutricionais de espécies arbóreas em três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa das terras baixas, Paranaguá,PR**. Curitiba, 2000. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BONA, C.; SANTOS, O. G. **Adaptações fisiológicas de espécies vegetais crescendo em solo contaminado com petróleo**. Curitiba: FUNPAR – UFPR, 2003. Relatório Técnico.

BORSOI, G. A. ; COSTA, E. C. Avaliação nutricional de plantas de erva-mate atacadas e não atacadas pelo *Hedypathes betulinus* (Klug, 1825). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.2, p. 131-142, 2001.

BOTOSSO, P. C.; GOMES, A. V. Radial vessels and series of perforated ray cells in Annonaceae. **IAWA Bulletin** n.s., v.3, n.1, p. 39-44, 1982.

BOTOSSO, P. C. Nota de ocorrência de vasos radiais em dupla conexão em *Annona glabra* L. (Annonaceae). **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.7, p. 145-146, 1985.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6. ed. Tradução: Antônio B. Neiva Figueiredo F.º Rio de Janeiro: Livraria Freitas bastos S.A , 1983. 647 p.

BRITEZ, R. M. **Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá**. Curitiba, 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

BRITO, C. J. F. A.; ALQUINI, Y. A new method for staining botanical material embedded in glycol methacrylate (GMA). **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 949-951, Dez. 1996.

BUJOKAS, W. M. **O impacto da poeira de cimento em *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae)**. Curitiba, 2001. 95 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade federal do Paraná.

BUKATSCH, F. Bermerkungen zur Doppelfärbung Astrablau-safranin. **Mikrokosmos** v.61, n.8, p.255.

BÜNDCHEN, M. **Respostas morfo-anatômicas e fisiológicas em folhas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) sujeitas à poluição urbana**. Curitiba, 2001. 80 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CALLADO, C. H.; SILVA NETO, S. J. da; SCARANO, F. R.; BARROS, C. F.; COSTA, C. G. Anatomical features of growth rings in flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **IAWA Journal**, v.22, n.1, p.29-42, 2001.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SANTOS, E. M. dos; TEDESCO, N.; PEREIRA, J. C. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento jovem de *Acacia mearnsii* De Wild. Estabelecido na região sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.29, n. 1/ 2, p. 53-65, 2000.

CARLQUIST, S. **Comparative plant anatomy**. New York: Copyright by Holt, Rinehart and Winston, INC., 1961. 146 p.

CARLQUIST, S. Wood anatomy of Compositae: A summary with comments on factors controlling wood evolution. **Aliso** 6, p. 25-44, 1966.

CARLQUIST, S.; HOEKMAN, D. A. Ecological wood anatomy of the woody southern californian flora. **IAWA Bulletin** n.s., v.6, n.4, p. 319- 347, 1985.

CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy**: systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. New York: Springer-Verlag, 1988. 436 p.

CASTRO, M. de M.; MACHADO, S. R. Células e tecidos secretores. In: APPEZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Ed.). **Anatomia vegetal**. Viçosa: UFV, 2003. 179 -188 p.

CECCANTINI, G. C. T.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Perforated ray cells in *Bathysa meridionalis* (Rubiaceae). **IAWA Journal**, v. 21, n.1, p. 77-82, 2000.

CECY, A. T. **Efeitos da poluição aérea e da chuva ácida em folhas de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endch. (Podocarpaceae), na região metropolitana de Curitiba, PR**. Curitiba, 2001. 89 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade federal do Paraná.

CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos**: a teoria trofobiose. 2.ed. Porto alegre: L&PM, 1999. 272 p.

CHUPAKHINA, G. N.; MASLENNIKOV, P. V. Plant adaptation to oil stress. **Russian Journal of Ecology**, v.35, n.5, p. 290-295, 2004. Translated from Ekologiya, n.5, p. 330-335, 2004.

CLARK, R. B. **Marine pollution**. 4th ed. Oxford:Oxford University Press, 1997. 161 p.

CLARK, R. C.; BROWN, D. W. Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems. In: MALINS, D. C. (Ed.). **Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environments and organisms**. New York: Academic Press, 1977, v.1, p. 1-90.

CLARK, R. C.; MACLEOD, W. D. Inputs, transport mechanisms, and observed concentrations of petroleum in the marine environment. In: MALINS, D. C. (Ed.). **Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environments and organisms**. New York: Academic Press, 1977, v.1, p. 91-224.

COMISSÃO DE ESTUDOS CE: 11-01-07:001 ABNT. Normas de procedimentos em estudos de anatomia da madeira.

COSTA, C. G.; CALLADO, C. H.; CORADIN, V. T. R.; CARMELLO-GUERREIRO, S., M. Xilema. In: APPEZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S., M. (Ed.). **Anatomia vegetal**. Viçosa: UFV, 2003. 129 -141 p.

CRONQUIST, A. **Introducción a la botanica**. Tradução: Ramon Riba Y Nava Esparza. México: Compañía Editorial continental, S. A., 1969. 800 p.

CRONQUIST, A. **An integrate system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1981.

CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. 2nd ed. New York: The New York Botanical Garden, 1988. 555 p.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. HSU, F. C. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Advances in Agronomy**, v.56, p.55-113, 1996.

CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**: parte I – células e tecidos. 2. ed. Tradução: Gabriela Vera Maria Caruso Catena. São Paulo: Roca, 1986. 304 p.

CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**: parte II – órgãos experimentos e interpretação. Tradução: Gabriela Vera Maria Caruso Catena. São Paulo: Roca, 1987. 336 p.

DAYAL, R.; RAO, R. V.; SHARMA, B. Perforated ray cells in woods of indian Myrsinaceae and Loganiaceae. **IAWA Bulletin** n.s., v.5,n.3, p. 225-228, 1984.

DELAUNE, R. D.; PATRICK JR., W. H.; BURESH, R. J. Effect of crude oil on Louisiana *Spartina alterniflora* salt marsh. **Environmental Pollution**. England: Applied Science Publishers Ltd. p. 21-31, 1979.

DRECHSEL, P.; ZECH, W. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. **Plant and Soil**. Hague, v. 131, p. 29-46, 1991.

DIAS-LEME, C. L.; GASSON, P.; NIC LUGHADHA, E. Wood anatomy of four Myrtaceae genera in the subtribe Myrciinae from South America. **IAWA Journal**, v. 16, n.1, p.87-95, 1995.

DIAS-LEME, C. L.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Intrusive cavities in euphorbiaceae fibre walls. **IAWA Journal**, v.19, n.3, p. 279-283, 1998.

DOP, P.; GAUTIÉ, A. **Manual de technique botanique**. Paris: J. Lamarre, 1928. 594 p.

EASTCOTT, L.; SHIU, W. Y.; MACKAY, D. Modeling petroleum products in soils. In: KOSTECKI, P. T.; CALABRESE, E. J. (Ed.). **Petroleum contaminated soils: remediation techniques, environmental fate, risk assessment**. Michigan: Lewis Publishers, INC, 1989. v. 1, p. 63-80.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: EDUSP, 1975. 344 p.

ERNEST, W. Variation in the mineral contents of leaves of trees in miombo woodland in south central Africa. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 61, p. 801-807, 1975.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. Tradução: Berta Lange de Morretes. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 293 p.

EVERTSEN, J. A.; MAC SIURTAIN, M. P.; GARDINER, J. J. The effect of industrial emission on wood quality in norway spruce (*Picea abies*). **IAWA Bulletin** n. s., v. 7, n.4, p.399-403, 1986.

FAHN, A. **Plant anatomy**. 4th ed. Oxford: Pergamon Press, 1990. 588 p.

FOSKET, D. E. **Plant growth and development: a molecular approach**. San Diego: Academic Press, 1994. 580 p.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and woodresin composites, and a new macerating meethod for wood. **Nature**, v.155, n.3924, p. 51, 1945.

FREEDMAN, B. **Environmental ecology: the ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, INC, 1993. 606 p.

FRITZSONS, E. **Avaliação do impacto da contaminação por nitrogênio na bacia hidrográfica cárstica de Fervida/ Ribeirão das Onças- Colombo/PR**. Curitiba, 1999. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FRÜHWALD, A. Technological properties of wood from trees in polluted regions. **IAWA Bulletin** n.s., v. 7, n. 4, p. 389-397, 1986.

GARCIA, F. A.; ROCHA, B. C.; PREUSSLER, K. H.; OLIVEIRA, C. M. R.; MARANHO, L. T. Monitoramento dos efeitos da poluição por petróleo pela estrutura do lenho de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae). In: **55º CONGRESSO NACIONAL e 26º Encontro Regional de Botânicos MG, BA, ES., 6., 2004, Viçosa, MG: UFV, 2004, CD-ROM**.

GOUDEY, J. S.; DALE, M.; HODDINOTT, J. The effects of oil spill chemicals on transpiration, CO₂ exchange, and cuticular structure in *Salix interior*. **Can. J. Bot.** 63: p.2340-2344, 1985.

GOURLAY, I. D.; GRIME, G. W. Calcium oxalate crystals in african *Acacia* species and their analysis by scanning proton microprobe (SPM). **IAWA Journal**, v. 15, n. 2, p. 137-148, 1994.

GREEN, B. T.; WIBERG, C. T.; WOODRUFF, J. L.; MILLER, E. W.; POAGE, V. L.; CHILDRESS, D. M.; FEULNER, J. A.; PROSCH, S. A.; RUNKEL, J. A.; WANDERSCHIED, R. L.; WIERMA, M. D.; YANG, X.; CHOE, H. T.; MERCURIO, S.

D. Phytotoxicity observed in *Tradescantia* correlates with diesel fuel contamination in soil. **Environmental and Experimental Botany**, v. 36, n. 3, p. 313-321, 1996.

HAIDER, K. Sorption phenomena between inorganic and organic compounds in soils: impacts on transformation processes. In: HUANG, P. M.; BERTHELIN, J.; BOLLAG, J. M.; MCGILL, W.B.; PAGE, A.L. (Ed.). **Environmental impact of soil component interactions**. London: CRC Lewis Publishers, 1995. 21-45 p.

HAYDEN, W. J.; HAYDEN, S. M. Wood anatomy Acalyphoideae (Euphorbiaceae). **IAWA Journal**, v.21, n.2, p.213-235, 2000.

HELINSKA-RACZKOWSKA, L. Variation of vessel lumen diameter in radial direction as an indication of the juvenile wood growth in oak (*Quercus petraea* Liebl). **Annales des sciences forestières**, v.51, n.3, p. 283-290, 1994.

HILDEBRAND, C. **Manual de análises químicas de solo e plantas**. Curitiba: UFPR (mimeografado), 1976/1977. 255 p.

IAWA Committee. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin** n.s., v. 10, n.3, p. 221-332, 1989.

INDEX KEWENSIS, 1885-1990. Kew: Royal Botanic Gardens. CD-ROM.

IWASAKI, C. **Caracterização anatômica do lenho de espécies medicinais utilizadas na fitoterapia denominadas popularmente de "pau-amargo"**. Curitiba, 2001. 58 f. Dissertação (Mestre em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940. 523 p.

JOLY, A. B. **Botânica – Introdução à taxonomia vegetal**, 11ª ed. São paulo: Editora Nacional, 1993.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2nd ed. Boca Raton, Flórida: CRC Press, 1992. 315 p.

KELLER, T. Air pollutant deposition and effects on plants. In: ULRICH, B.; PANKRATH, J. (Ed.). **Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems**. Holland: D. Reidel publishing Company, 1983. 285-294 p.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Growth control in woody plants**. San Diego: Academic Press, 1997. 641 p.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T.T. **Fisiologia das árvores**. Tradução: Antônio Manuel Azevedo Gomes. Lisboa: Fundação Caloust Gulbenkian, 1972. 745 p.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica, RJ: EDUR, 1997. 198 p.

KUHN, W.; GAMBINO, R.; AL-AWADHI, N.; BALBA, M. T.; DRAGUN, J. Growth of tomato plants in soil contaminated with Kuwait crude oil. **Journal of Soil Contamination**, v. 7, n.6, p. 801-806, 1998.

LAMB, C. J.; LAWTON, M. A. ; DRON, M.; DIXON, R. A. Signals and transduction mechanisms for activation of plant defenses against microbial attack. **Cell** 56, 215-224, 1989.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer-Verlag, 1998. 540 p.

LANDRUM, L. R. *Campomanesia, Pimenta, Blepharocalyx, Legrandia, Acca, Myrrhinium, and Luma (Myrtaceae)*. **Flora Neotropica**, New York, v. 45, p.66-70, 1986.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Carlos Henrique B. A. Prado. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

LEGRAND, C. D.; Mirtaceas del Estado de Santa Catarina. **Sellowia**, Itajaí, n.13, p.336, 1961.

LEGRAND, C. D.; KLEIN, R. M. Mirtáceas. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí, p. 596-602, 1977.

LINDORF, H. Eco-anatomical wood features of species from a very dry tropical forest. **IAWA Journal**, v.15, n.4, p. 361-376, 1994.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

LUCHI, A. E. Anatomia do lenho de *Croton urucurana* baill. (Euphorbiaceae) de solos com diferentes níveis de umidade. **Revista Brasileira de Botânica**, v.27, n.2, p.271-280, 2004.

MALALLAH, G.; AFZAL, M.; KURIAN, M.; GULSHAN, S.; DHAMI, M. S. I. Impact of oil pollution on some desert plants. **Environment International**, v. 24, n. 8, p.919-924, 1998.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: metais pesados, mitos, mistificações e fatos**. São Paulo: ProduQuímica, 1994.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARANHO, L. T. **O efeito da poluição por petróleo na estrutura da folha e do lenho de *Podocarpus lamberti* Klotzsch ex Endl. (Podocarpaceae)**. Curitiba, 2004. 200 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MARCHIORI, J. N. C. **Elementos de dendrologia**. Santa Maria: UFSM, 1995. 163p.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das angiospermas: myrtales**. Santa Maria: UFSM, 1997. 304 p.

MARCHIORI, J. N. C. Estudo microscópico da madeira de sete-capotes, *Campomanesia guazumaefolia* (Camb.) Berg., Myrtaceae. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.1, p.47-51, 1998.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das angiospermas: das bixáceas às rosáceas**. Santa maria: UFSM, 2000. 240 p.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MARTIUS, C. F. P. **Flora Brasiliensis**. Weinheim: J. Cramer, 1840-1906.
- MAUSETH, J. D. **Plant anatomy**. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc, 1988. 560 p.
- MAUSETH, J. D. **Botany: an introduction to plant biology**. 2nd , Multimedia enhanced ed. Sudbury: Jones and Bartlett Publisher, 1998. 794 p.
- MAYER, J. L. S. **Impacto do solo contaminado com petróleo no crescimento e desenvolvimento de *Campomanesia xanthocarpa* O . Berg (Myrtaceae)**. Curitiba, 2004. 81 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.
- MCKENZIE, D. H.; HYATT, D. E.; MCDONALD, V. J. (ED.). **Ecological indicators**. Vol. 1. London: Chapman & Hall, 1995. 810 p.
- MELLANBY, K. **Biologia da poluição**. 2^a ed. Tradução: Lúcia Baungartner Lamberti. São Paulo: E.P.U., 1982. 89 p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A . **Principles of Plant Nutrition**. 3rd . Bern: Publisher International Poash Institute, 1982. 655 p.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. 2 Vols. Oxford: Clarendon Press, 1950. 1500 p.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. V.2. Wood structure and conclusion of the general introduction. Oxford: Clarendon Press, 1983. 296 p.
- MILLER, R. B.; CAHOW, E. Wood identification of commercially important north american species of birch (*Betula*). **IAWA Bulletin** n.s., v.10, n.4, p.364-373, 1989.
- MORREY, D. R.; BALKWILL, K.; BALKWILL, M. J. Studies on serpentine flora: preliminary analyses of soils and vegetation associated with serpentinite rock formations in the south-eastern Transvaal. **S. Afr. J. Bot.**, v.55, n.2, p 171-177, 1989.
- MUHAMMAD, A . F.; MICKO, M. M. Accumulation of calcium crystals in the decayed wood of *Aspen* attacked by *Fomes igniarius*. **IAWA Bulletin** n.s., v.5, n.3, p.237-241, 1984.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução: Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A, 1988. 434 p.
- OLIVEIRA, L. S. **Influência do solo contaminado com petróleo na morfologia e fisiologia de *Schinus terebinthifolius* RADDI (Anacardiaceae)**. Curitiba, 2004. 63 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.
- OLIVEIRA, S. A de.; MORAES, M. L. T. de.; BUZETTI, S. Aspectos nutricionais da variação genética em progênies de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. sob diferentes condições de cultivo. **Floresta**, Curitiba, v.29, n. 1/ 2, p. 03-14, 2000.
- PARAMESWARAN, N.; CONRAD, H. Wood and bark anatomy of *Balanites aegyptiaca* in relation to ecology and taxonomy. **IAWA Bulletin** n.s., v.3, n.2, p.75-88, 1982.

PARAMESWARAN, N.; RICHTER, H. -G. The ultrastructure of crystalliferous cells in some Lecythydaceae with a discussion of their terminology. **IAWA Bulletin** n.s., v.5, n.3, p.229-236, 1984.

PETROBRAS. **Caracterização física e química preliminar do óleo derramado na REPAR em julho de 2000**. Curitiba, 2003. 2p. Relatório Técnico.

PEZESHKI, S. R.; HESTER, M. W.; LIN, Q.; NYMAN, J. A. **The effects of oil spill and clean-up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review**. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com> > Acesso em: 21 Fev. 2000.

PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; ANDERSON, S. J.; LIMA, J. M. Adsorção e dessorção de cádmio, cobre e chumbo por amostras de latossolos pré-tratadas com fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v.28, n.2, 2004. 377-384 p.

PRESLO, L.; MILLER, M.; SUYAMA, W.; MCLEARN, M.; KOSTECKI, P.; FLEISCHER, E. Available remedial technologies for petroleum contaminated soils. In: KOSTECKI, P. T.; CALABRESE, E. J. (Ed.). **Petroleum contaminated soils: remediation techniques, environmental fate, risk assessment**. Michigan: Lewis Publishers, INC., 1989, v. 1, p. 115 - 125.

PROFFITT, C. E.; DEVLIN, D. J.; LINDSEY, M. Effects of oil on mangrove seedlings grown under different environmental conditions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 30, n.12, p. 788-793, 1995.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, POTAFOS, 1991. 343 p.

RAO, R. V.; SHARMA, B.; DAYAL, R. Anatomy of aerial rootwood of sonneratia caseolaris (L.) Engler (Sonneratioideae). **IAWA Bulletin** n.s., v.10, n.4, p. 374-378, 1989.

REISSMANN, C. B.; ROCHA, H. O. DA; KOEHLER, C. W. *et al.* Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) sobre cambissolos na região de Mandirituba-PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v.14, n.2, p. 49-54, 1983.

RIBEIRO-FILHO, M. R.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; MOTTA, P. E. F. Metais pesados em solos de área de rejeitos de indústria de processamento de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v.23, n.2, p.453-464, 1999.

RICHTER, H. -G. The wood structure of *Couratari* Aubl. and *Couroupita* Aubl. (Lecythydaceae). **IAWA Bulletin**, n.s., v.3, p. 45-55, 1982.

RUDALL, P. Laticifers in vascular cambium and wood of *Croton* spp. (Euphorbiaceae). **IAWA Bulletin**, v.10, n.4, p. 379-383, 1989.

RURY, P. M. Systematic and ecological wood anatomy of the Erythroxylaceae. **IAWA Bulletin**, n.s., v.6, n.4, p.365-397, 1985.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. 4th ed. California: Wadsworth Publishing Company, 1992. 682 p.

SANTOS, O. G.; REISSMANN, C. B.; BONA, C.; BISCAIA, A. G. Efeito do solo contaminado com petróleo e solo biorremediado sobre o crescimento e desenvolvimento de *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. In: **55º CONGRESSO**

NACIONAL e 26º Encontro Regional de Botânicos MG, BA, ES., 6., 2004, Viçosa, MG: UFV, 2004, CD-ROM.

SASS, J. E. **Botanical microtechnique**. 2nd. Iowa: The Iowa State College, Ames, 1951. 326 p.

SCHMID, R.; BAAS, P. The occurrence of scalariform perforation plates and helical vessel wall thickenings in wood of Myrtaceae. **IAWA Bulletin** n. s., v.5, n.3, p. 197-215, 1984.

SHORTLE, W. C.; BAUCH, J. Wood characteristics of *Abies balsamea* in the new England States compared to *Abies alba* from sites in Europe with decline problems. **IAWA Bulletin** n.s. v.7, n.4, p. 375-387, 1986.

SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná cultivado em vaso. **IPEF**, n.7, p.3-40, 1973.

SINGH, A. P. Certain aspects of bacterial degradation of *Pinus radiata* wood. **IAWA Bulletin** n. s., v.10, n.4, p. 405-415, 1989.

SIQUEIRA, J. O. ; PEREIRA, M. A. M.; SIMÃO, J.B. P.; MOREIRA, F.M. S. Efeito da formononetina (7 hidroxí, 4'metoxi isoflavona) na colonização micorrízica e crescimento do milho em solo contendo excesso de metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v.23, n.3, p. 561-567, 1999.

SMITH, C. J.; DELAUNE, R.D.; PATRICK JR., W.H. A method for determining stress in wetland plant communities following an oil spill. **Environmental Pollution** (Series A) n. 26, p. 297-304, 1981.

SMITH, L. B.; DOWNS, J.; KLEIN, R. M. Euforbiáceas. In: **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí : Herbário Barbosa Rodrigues, 1988).

SOBRADO, M. A. ; MEDINA, E. General morphology, anatomical structure, and nutrient content of sclerophyllous leaves of the "Bana" vegetation of Amazonas. **Oecologia**, Berlim, v.45, n.3, p. 341-345, 1980.

SOFFIATI, P.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Estudo anatômico comparativo do lenho e da casca de duas espécies de *Eugenia* L. (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.22, n.2, p.175-184, 1999.

SOUSA, L. P. de. **Anatomia ecológica do lenho de *Psidium cattleianum* Sabine (MYRTACEAE) e sua relação com a morfologia foliar e a cor dos frutos**. Curitiba, 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

SOUZA, L. C. P. *et al.* **Diagnóstico e monitoramento da cobertura vegetal da área de influência direta e indireta do vazamento de óleo da Refinaria Presidente Getúlio Vargas- REPAR**, Araucária-PR. Fase I- Diagnóstico .Curitiba: FUNPAR, UFPR, 2001. Relatório Técnico.

SOUZA, S. L. de. **Revegetação de área de biorremediação contaminada por resíduos oleosos de petróleo**. Curitiba, 1999. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: Eliane Romanato Santarém... [et al.]. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

- TAKHTAJAN, A. **Diversity and classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1997. 643 p.
- TIVY, J. **Biogeography: a study of plants in the ecosphere**. 3rd ed. England: Longman Group UK Limited, 1995. 452 p.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. 5th ed. New York: Macmillan Publishing company, 1993.
- TROEH, F. R.; HOBBS, J. A.; DONAHUE, R. L. **Soil and water conservation**: for productivity and environmental protection. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1980. 718 p.
- TRUGILHO, F. P.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **CERNE**, Universidade Federal de Lavras, v.2, n.1, p. 94-111, 1996.
- VAN VLIET, G. J. C. M. Radial vessels in rays. **IAWA Bulletin**, n.3, p.35-37, 1976.
- VISSER, H.; NOPPERT, F.; WAKEREN, H. V.; VAESSEN, J. Xylem sap velocity in relation to weather and air pollution. **IAWA Bulletin** n. s., v.10, n.4, p.427- 439, 1989.
- VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R. L., Jr. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, (s.n.), v.17, p. 137-167, 1986.
- WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. **Forest ecosystems**: concepts and management. London: Academic Press, Inc, 1985. 340 p.
- WENTZEL, K. F. IUFRO-studies on maximal SO₂ emissions standards to protect forests. In: ULRICH, B.; PANKRATH, J. (Ed.). **Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems**. Holland: D. Reidel publishing Company, 1983. 295-302 p.
- WHEELER, E. A.; BAAS, P. Wood identification – A review. **IAWA Journal**, v.19, n.3, p. 251- 259, 1998.
- XIONG, Z. T.; HU, H. X.; WANG, Y. X.; FU, G.H.; TAN, Z. Q.; YAN, G. A. Comparative analyses of soil contaminant levels and plant species diversity at developing and disused oil well sites in qianjiang oilfield, China. **Bulletin Environmental Contamination and Toxicology**, v. 58, p. 667-672, 1997.
- ZIMMERMANN, M. H. Functional xylem anatomy of angiosperm trees. In: BAAS, P. (Ed.). **New perspectives in wood anatomy**. Boston: Martinus Nijhoff / Dr W. Junk Publishers, 1982. p. 59 – 70.
- ZIMMERMANN, M. H.; POTTER, D. Vessel-length distribution in branches, stem and roots of *Acer rubrum* L. **IAWA Bulletin** n.s., v.3, n.2, p. 103-109, 1982.
- ZIMMERMANN, M. H. **Xylem Structure and the Ascent of Sap**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. 143 p.
- ZHONG, Y.; BAAS, P.; WHEELER, E. A. Wood anatomy of trees and shrubs from China. IV. Ulmaceae. **IAWA Bulletin** n.s., v.13, n.4, p. 419-453, 1992.

ANEXOS

ANEXO 1 - Máximos e mínimos de temperaturas da estufa, no período de abril de 2002 a fevereiro de 2003.

Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro	
m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M
7,0	38,0	3,9	32,0	0,6	30,0	5,4	28,8	2,6	32,8	7,4	36,3	7,8	36,6	10,9	45,2	9,8	39,0	13,0	41,6	12,9	42,7

ANEXO 2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA de *C. xanthocarpa* (campo)

VARIÁVEL	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA	COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS (valores de p)		
		Contaminado X Não-contaminado	Contaminado X Biorremediado	Não-contaminado X Biorremediado
CV	0,6828	-	-	-
APÊND.	0,3848	-	-	-
DV	0,0013	0,0395	0,1811	0,0011
NV	0,3191	-	-	-
CF	0,6812	-	-	-
DF	0,0294	0,0669	0,9556	0,0389
EPF	0,3171	-	-	-

ANEXO 3 – Sumário da análise de variância de *Campomanesia xanthocarpa* (campo)

Variáveis	G.L. 1	G.L. 2	Ms Error	F	p
CV	2	15	4227	0,39	0,68
Apêndice	2	15	228	1,01	0,38
DV	2	15	4,44	10,67	0,00
NV	2	15	17,26	1,25	0,31
CF	2	15	4227	0,39	0,68
DF	2	15	0,64	4,50	0,02
EPF	2	15	0,02	1,24	0,31

G.L.1 e G.L.2 (graus de liberdade); Erro padrão; valor de F; e de $p < 0,05$

ANEXO 4 – RESULTADOS DA ANÁLISE DISCRIMINANTE de *Campomanesia xanthocarpa* (campo)

VARIÁVEL	Lambda	Lambda	F-remover	Nível p	Tolerância	1-Toler.
	De Wilks	Parcial	(2,13)			(R-quad.)
DV	0,539685	0,528987	5,787627	0,015937	0,991566	0,008434
DF	0,372588	0,766226	1,983137	0,177141	0,715686	0,284314
NV	0,331874	0,860227	1,056145	0,375824	0,717513	0,282487

Estágio 3 ; número de variáveis no modelo = 3; Lambda de Wilks: 0,28549; valor aproximado de F (6,26)=3,7768; $p < ,0077$

ANEXO 5 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA *C. xanthocarpa* (estufa)

VARIÁV.	NÍVEL DE SIGNIF.	COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS*					
		4 x 5	4 x 6	4 x 7	5 x 6	5 x 7	6 x 7
CV	0,0922	-	-	-	-	-	-
APÊND	0,0002	0,3861	0,0141	0,0797	0,0005	0,0024	0,8401
DV	0,0108	0,2339	0,5201	0,0064	0,9381	0,3061	0,1161
NV	0,0028	0,2753	0,0019	0,0397	0,1000	0,7230	0,5148
CF	0,0067	0,1647	0,7330	0,4297	0,0213	0,0069	0,9546
DF	0,0367	0,6994	0,0419	0,9958	0,3047	0,8263	0,0665
EPF	0,0014	0,0061	0,9903	0,9579	0,0119	0,0021	0,8529

- 4 = solo contaminado adubado; 5 = solo não-contaminado adubado; 6 = solo contaminado; 7 = solo não-contaminado

ANEXO 6 – Sumário da análise de variância de *Campomanesia xanthocarpa* (estufa)

Variáveis	G.L. 1	G.L. 2	Ms Error	F	p
CV	3	20		2,46	0,09
Apênd_total	3	20		10,71	0,00
DV	3	20		4,84	0,01
NV	3	20		6,59	0,00
CF	3	20		5,43	0,00
DF	3	20		3,43	0,03
EPF	3	20		7,59	0,00

G.L. 1 e G.L.2 (graus de liberdade); Erro padrão, valor de F; e de $p < 0,05$

ANEXO 7– RESULTADO DA ANÁLISE DISCRIMINANTE PARA *C. xanthocarpa* (estufa)

VARIÁVEL	Lambda de Wilks	Lambda Parcial	F - remover	Nível p	Tolerância	1-Toler.
			(3,15)			(R-Sqr.)
APEN	0,0474	0,6364	2,8568	0,0722	0,8127	0,1873
CF	0,0675	0,4473	6,1774	0,0060	0,6090	0,3910
DV	0,0518	0,5830	3,5757	0,0394	0,7110	0,2890
DF	0,0506	0,5970	3,3746	0,0465	0,7149	0,2851
EPF	0,0484	0,6240	3,0124	0,0631	0,7798	0,2202
NV	0,0472	0,6397	2,8156	0,0748	0,7199	0,2800

Estágio 6, número de variáveis no modelo: 6; Lambda de Wilks: 0,03019; valor aproximado de F (18,42) = 5,8340; $p < ,0000$

ANEXO 8 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE *S. commersoniana* (CAMPO)

VARIÁVEL	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA	COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS (valores de p)		
		Contaminado X Não-contaminado	Contaminado X Banhado	Não-contaminado X Banhado
CV	0,0321	0,0840	0,0378	0,9050
APÊNDICE	0,9928	-	-	-
DV	0,0640	-	-	-
NV	0,0356	0,2902	0,4015	0,0283
CF	0,0007	0,0031	0,0013	0,8753
DF	0,0194	0,0406	0,0303	0,9874
EPF	0,4628	-	-	-

ANEXO 9 – Sumário da análise de variância de *Sebastiania commersoniana* (campo)

Variáveis	G.L. 1	G. L. 2	Ms Error	F	p
CV	2	15		4,36	0,03
Apên_total	2	15		0,00	0,99
DV	2	15		3,32	0,06
NV	2	15		4,20	0,03
CF	2	15		12,23	0,00
DF	2	15		5,18	0,01
EPF	2	15		0,81	0,46

G.L.1 e G.L.2 (graus de liberdade); Erro padrão; valor de F; e de p<0,05

ANEXO 10 – RESULTADOS DA ANÁLISE DISCRIMINANTE DE *S. commersoniana* (CAMPO)

VARIÁVEL	Lambda de Wilks	Lambda Parcial	F(remover) (2,11)	Nível de p	Tolerância	1-Toler. (R-Sqr.)
CF	0,129120	0,537579	40,73105	0,032918	0,510171	0,489829
NV	0,218789	0,317256	110,83616	0,001810	0,256708	0,743292
DF	0,108332	0,640738	30,08385	0,086446	0,874521	0,125479
CV	0,118073	0,587873	30,85576	0,053834	0,300455	0,699545
APEN_TOT	0,105765	0,656284	20,88052	0,098629	0,465714	0,534286

Estágio 5, número de variáveis no modelo: 5; Lambda de Wilks: 0,06941, F (aproximado) (10,22)=6,1504; p<0,0002

ANEXO 11 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE *S. commersoniana* (ESTUFA)

VARIÁV.	NÍVEL DE SIGNIF.	COMPARAÇÕES MÚLTIPLAS*					
		11 x 12	11 x 13	11 x 14	12 x 13	12 x 14	13 x 14
CV	0,4075	-	-	-	-	-	-
APÊND	0,3699	-	-	-	-	-	-
DV	0,0166	0,2963	0,4291	0,6685	0,0152	0,9067	0,0623
NV	0,0013	0,4699	0,0209	0,9894	0,0009	0,3092	0,0402
CF	0,0009	0,9996	0,1285	0,0029	0,1050	0,0023	0,3032
DF	0,1824	-	-	-	-	-	-
EPF	0,0003	0,0030	0,1325	0,0004	0,3005	0,7209	0,0444

- 11 = solo contaminado adubado; 12 = solo não-contaminado adubado; 13 = solo contaminado; 14 = solo não-contaminado

ANEXO 12 – Sumário da análise de variância de *Sebastiania commersoniana* (estufa)

Variáveis	G.L. 1	G.L. 2	Ms Error	F	p
CV	3	20		1,01	0,40
Apêndice	3	20		1,10	0,36
DV	3	20		4,33	0,01
NV	3	20		7,70	0,00
CF	3	20		8,19	0,00
DF	3	20		1,78	0,18
EPF	3	20		10,19	0,00

G.L.1 e G.L.2 (graus de liberdade); Erro padrão; valor de F; e de $p < 0,05$

ANEXO 13 – RESULTADOS DA ANÁLISE DISCRIMINANTE *S. commersoniana* (ESTUFA)

VARIÁVEL	Lambda de Wilks	Lambda Parcial	F-remover (3,16)	Nível de p	Tolerância	1-Toler. (R-Sqr.)
EPF	0,121669	0,524851	4,828287	0,014025	0,901139	0,098861
NV	0,115186	0,554389	4,286871	0,021186	0,943587	0,056413
CF	0,130463	0,489474	5,562723	0,008260	0,861626	0,138374
APEN_TOT	0,079770	0,800524	1,328971	0,299837	0,810500	0,189500
DV	0,077439	0,824625	1,134249	0,365038	0,990858	0,009142

Estágio 5, número de variáveis no modelo: 5; Lambda de Wilks: 0,06386; valor aproximado de F (15,44) = 5,0780; $p < ,0000$

ANEXO 15 - Resultados da análise química para macro e micronutrientes por dispersão de energia de raio x, das amostras de *S. commersoniana* (branquilha) do experimento da estufa, B_C (amostra da área contaminada); B_NC (amostra da área não contaminada); B_CA (amostra da área contaminada adubada); B_NCA (amostra da área não contaminada e adubada).

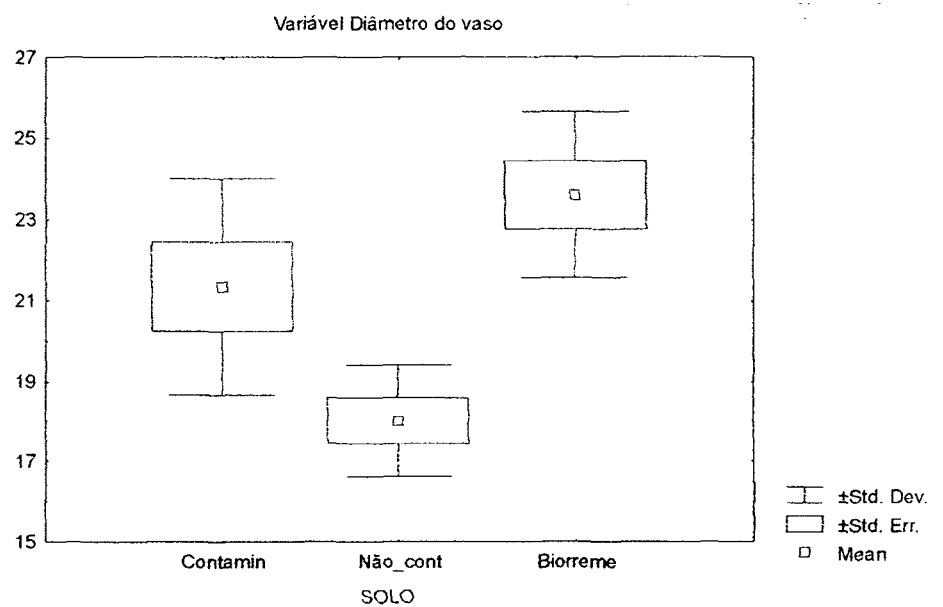
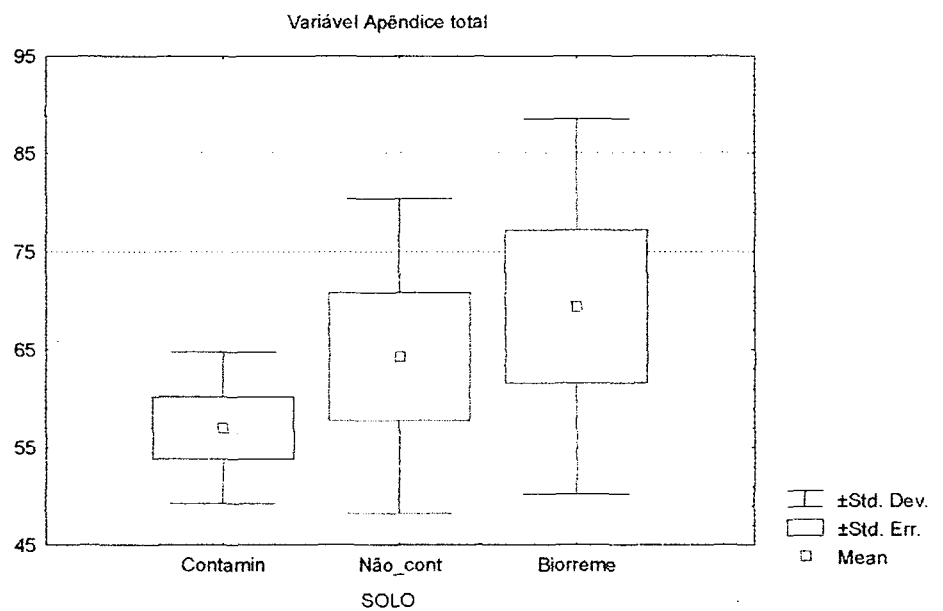
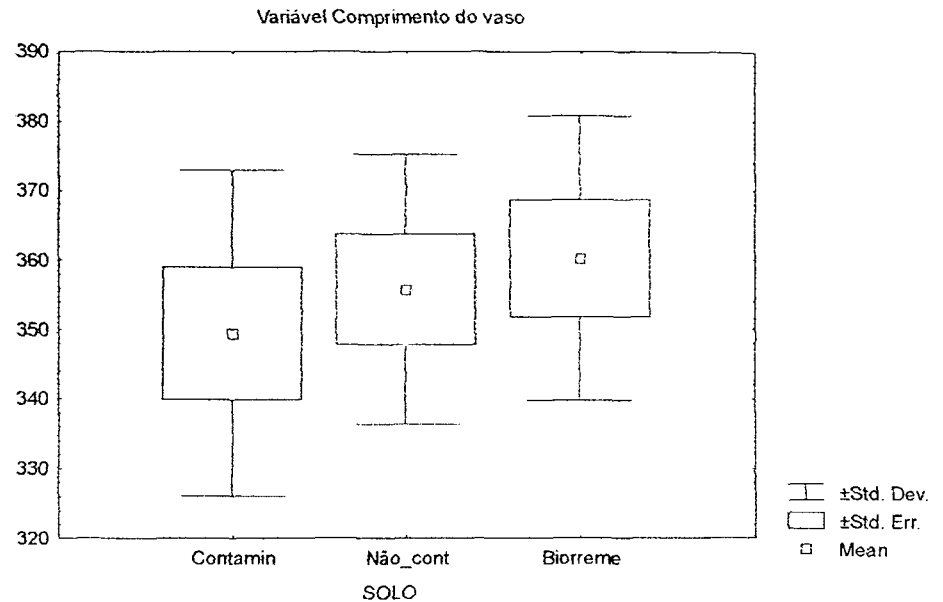
[illegible]

ANEXO 16 - Resultados da análise química para macro e micronutrientes por dispersão de energia de raio x, das amostras de *C. xanthocarpa* (guabiroba) do experimento do campo, G_2C (amostra da área contaminada); G_2NC (amostra da área não contaminada); G_B1 (amostra da área contaminada e biorremediada).

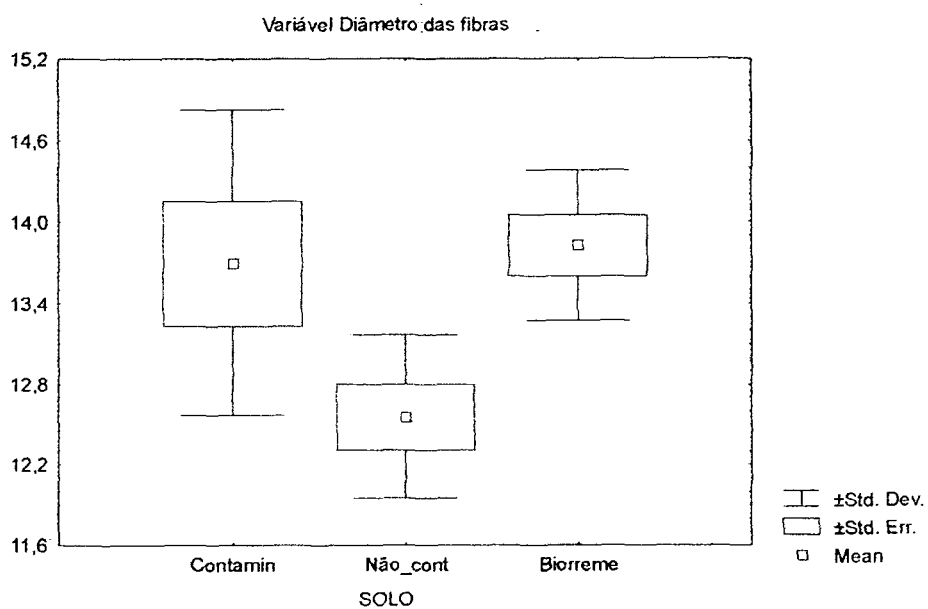
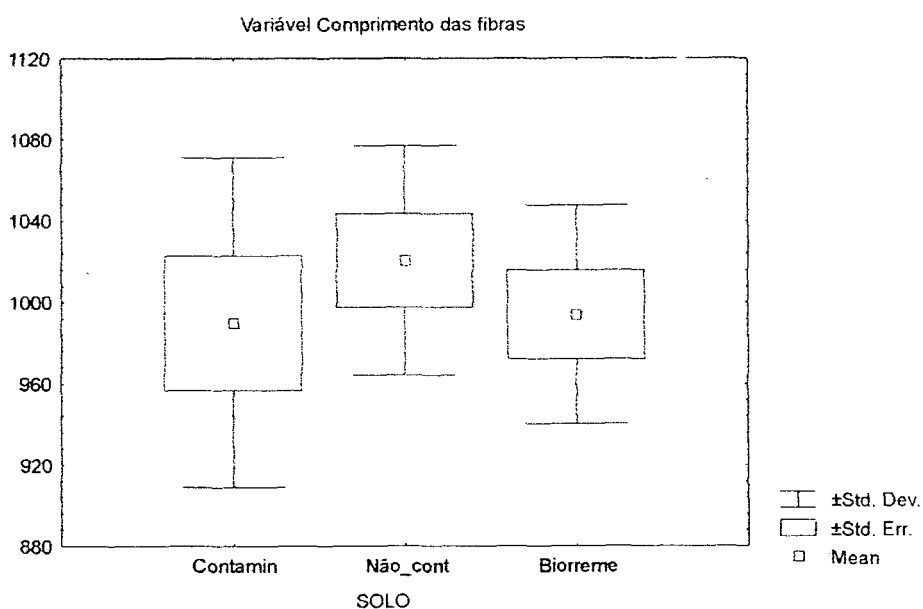
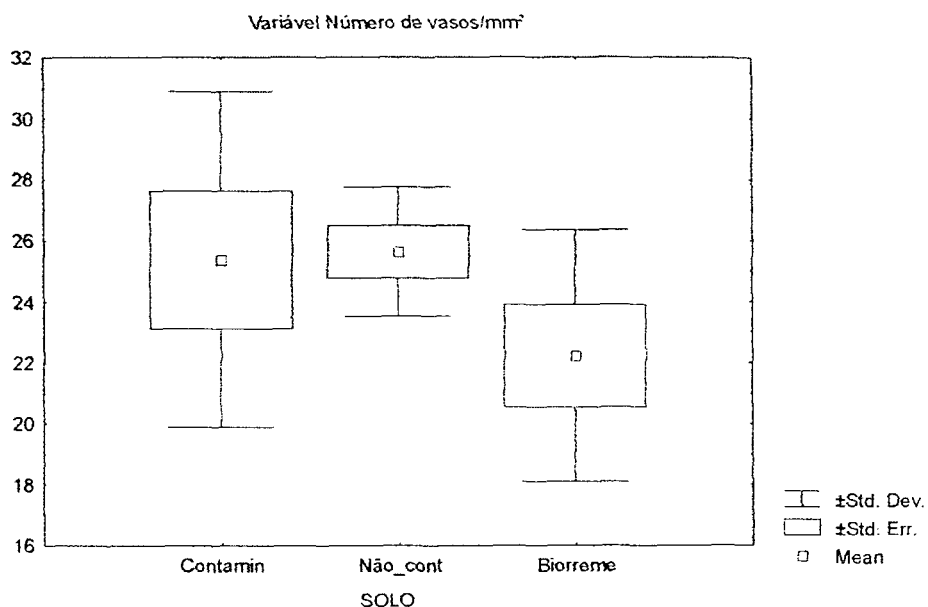
G_2C			G_2NC		G_B1	
Element	Element	Atom %	Element	Atom %	Element	Atom %
	Wt. %		Wt. %		Wt. %	
C	59.76	67.50	59.18	67.77	58.73	67.24
O	36.03	30.56	33.72	28.99	34.56	29.70
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.06	0.03	0.06	0.03	0.04	0.02
Al	2.47	1.24	5.03	2.57	4.38	2.23
Si	0.52	0.25	0.15	0.07	0.23	0.11
P	0.07	0.03	0.12	0.05	0.09	0.04
S	0.20	0.09	0.11	0.05	0.45	0.19
S	---	---	---	---	---	---
K	---	---	---	---	---	---
K	0.10	0.03	0.00	0.00	0.22	0.08
Ca	---	---	---	---	---	---
Ca	0.77	0.26	0.83	0.29	0.79	0.27
Fe	---	---	---	---	---	---
Fe	0.00	0.00	0.30	0.07	0.11	0.03
Zn	---	---	---	---	---	---
Zn	0.00	0.00	0.51	0.11	0.41	0.09
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

GRÁFICOS - ANEXOS

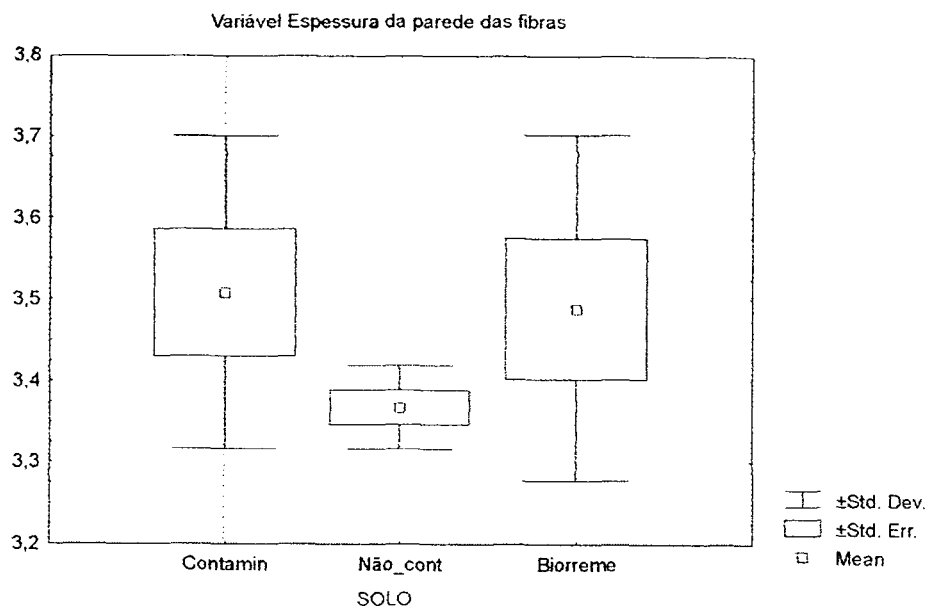
Anexo 17 -
evidenciando a
média, erro e
desvio-padrão
das variáveis
analisadas no
lenho jovem de
*Campomanesia
xanthocarpa*
(Campo)



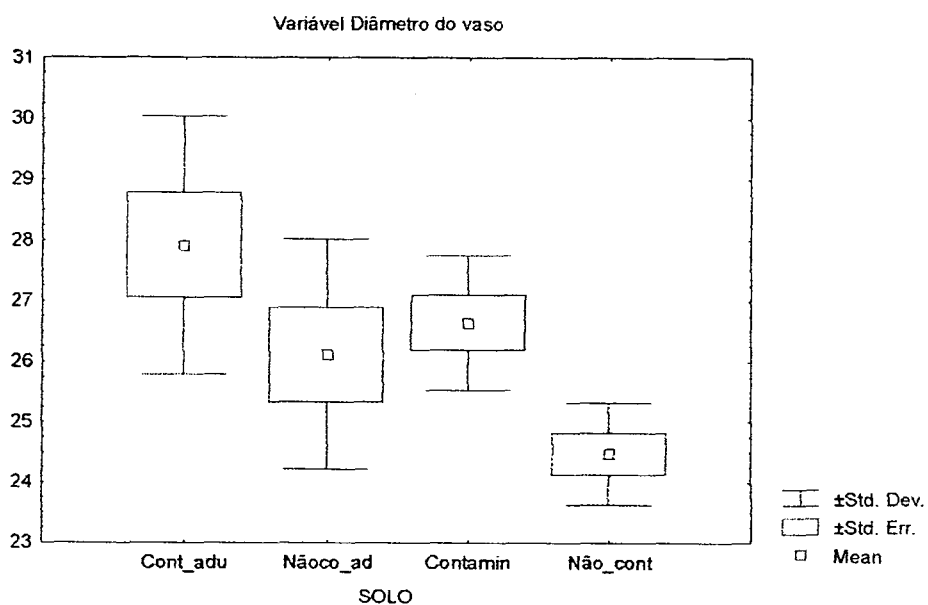
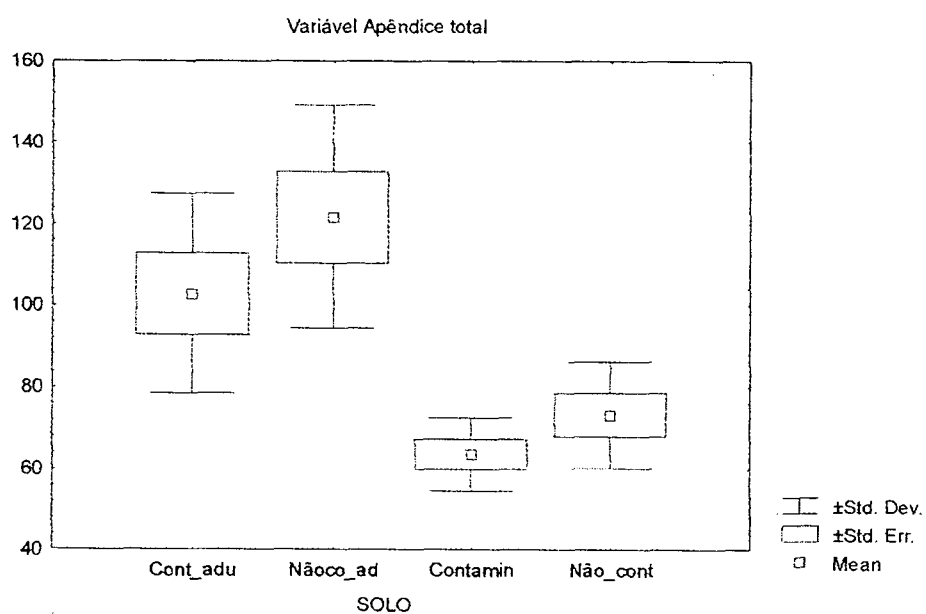
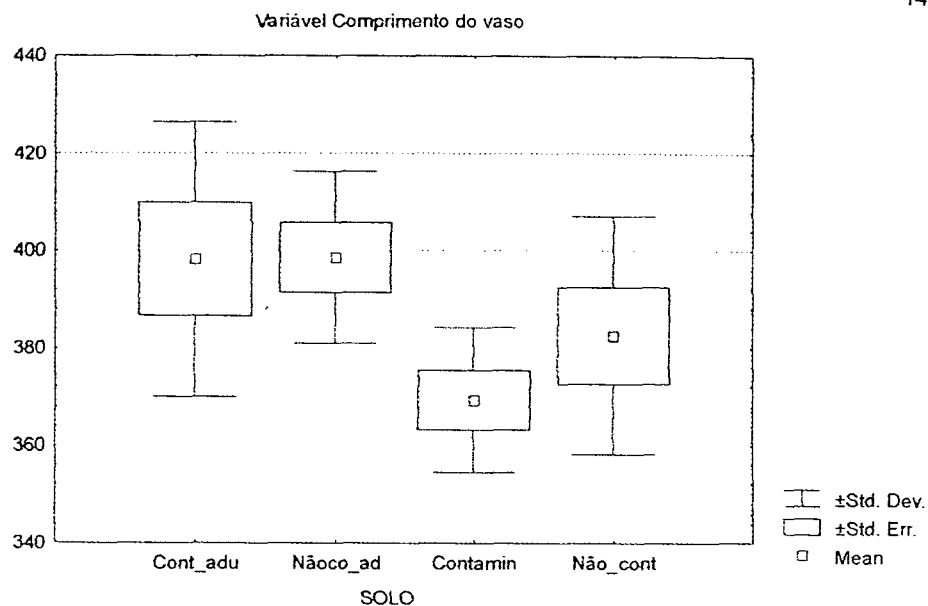
Anexo 17 -
evidenciando
a média, erro
e desvio-
padrão das
variáveis
analisadas no
lenho jovem de
Campomanesia
Xanthocarpa
(Campo)



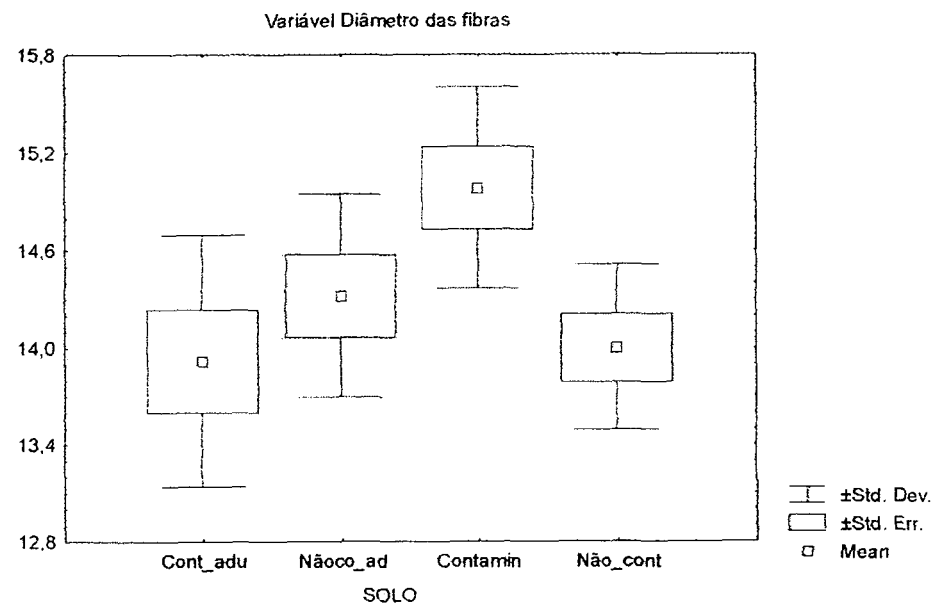
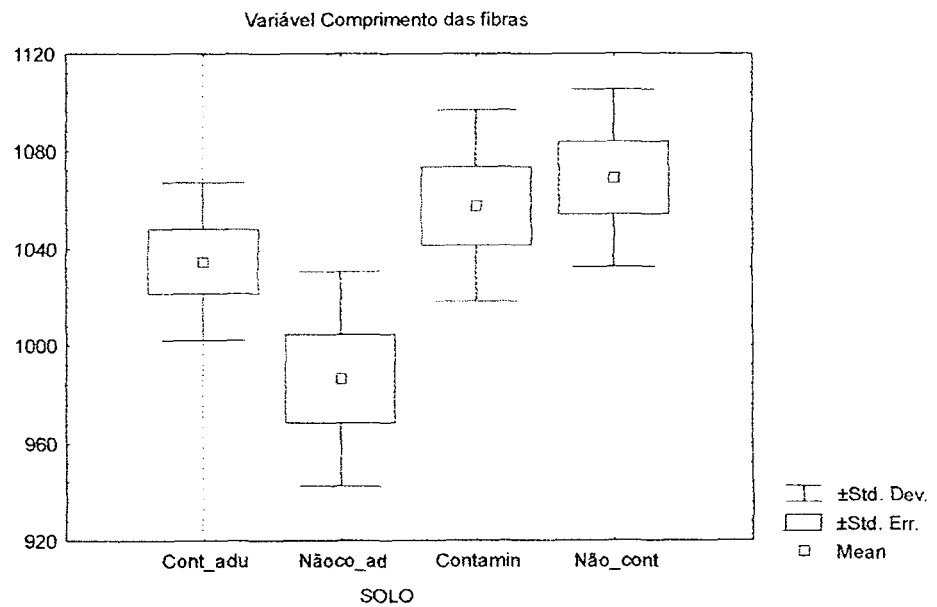
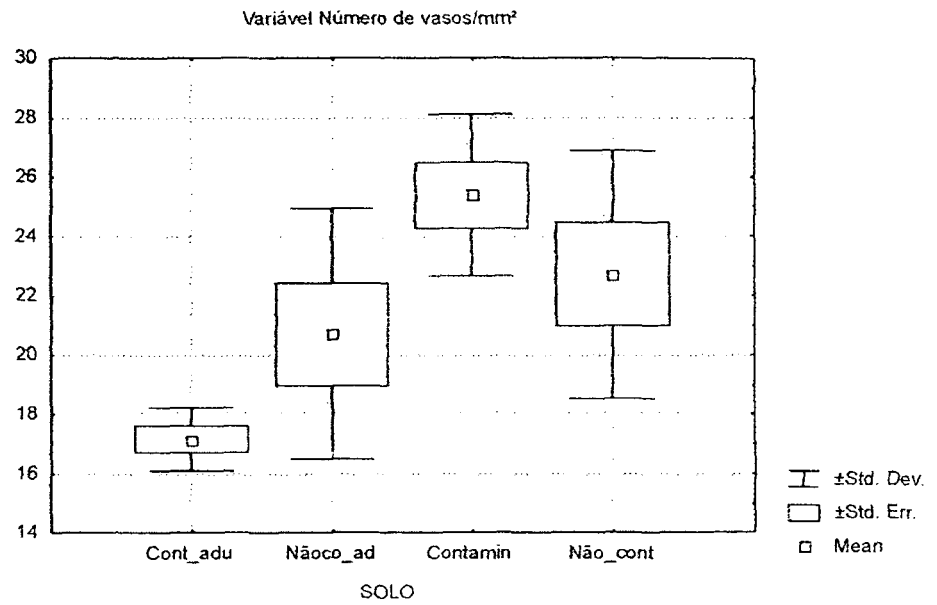
Anexo 17 -
evidenciando
a média, erro e
desvio-padrão da
variável
analisada no
lenho jovem de
*Campomanesia
xanthocarpa*
(campo)



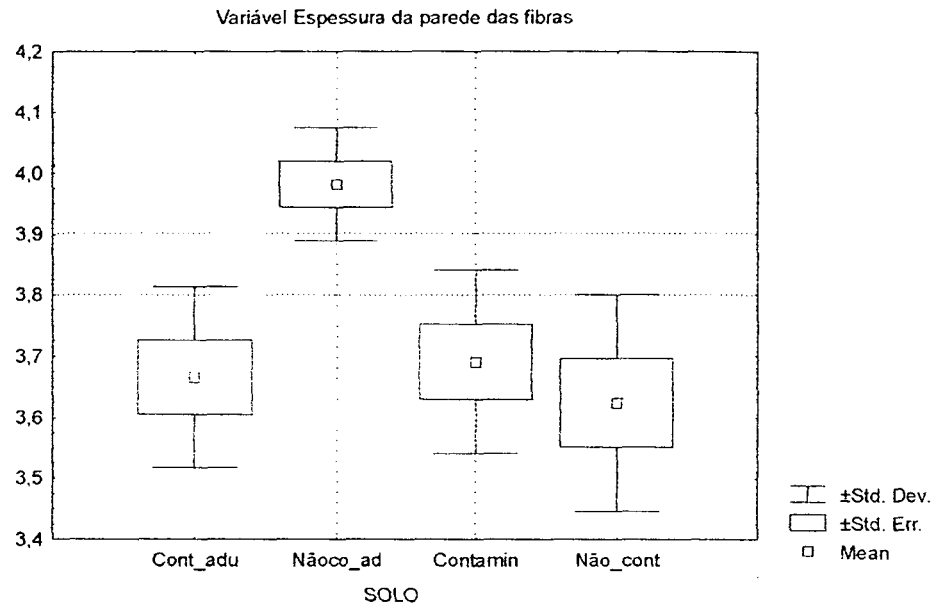
Anexo 18 -
evidenciando a
média, erro e
desvio-padrão das
variáveis
analisadas no
lenho jovem de
*Campomanesia
xanthocarpa*
(estufa)



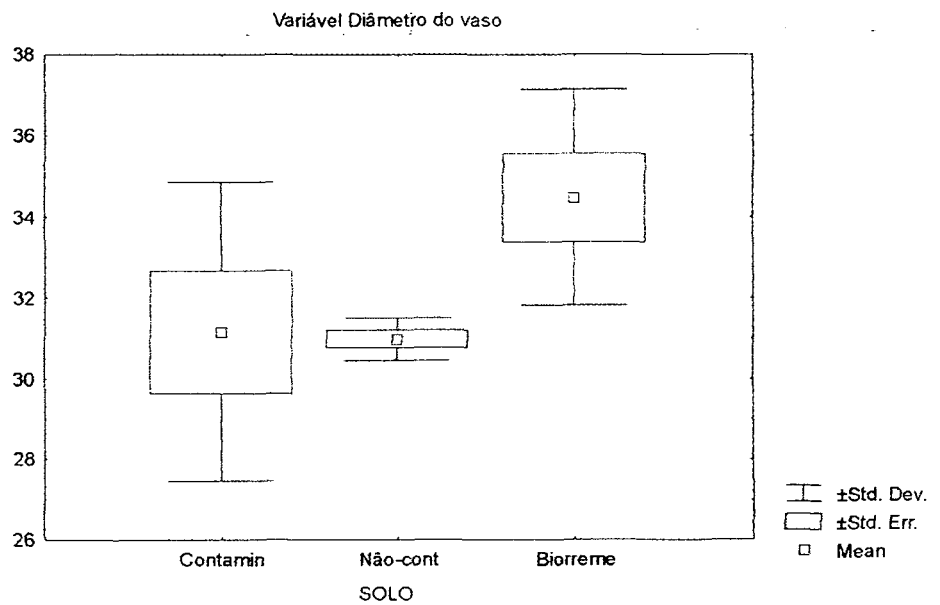
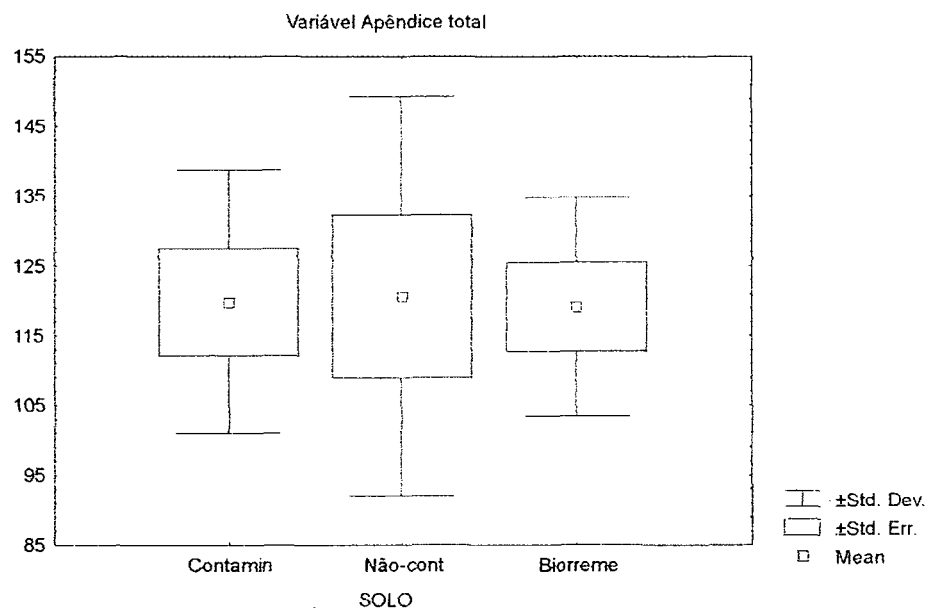
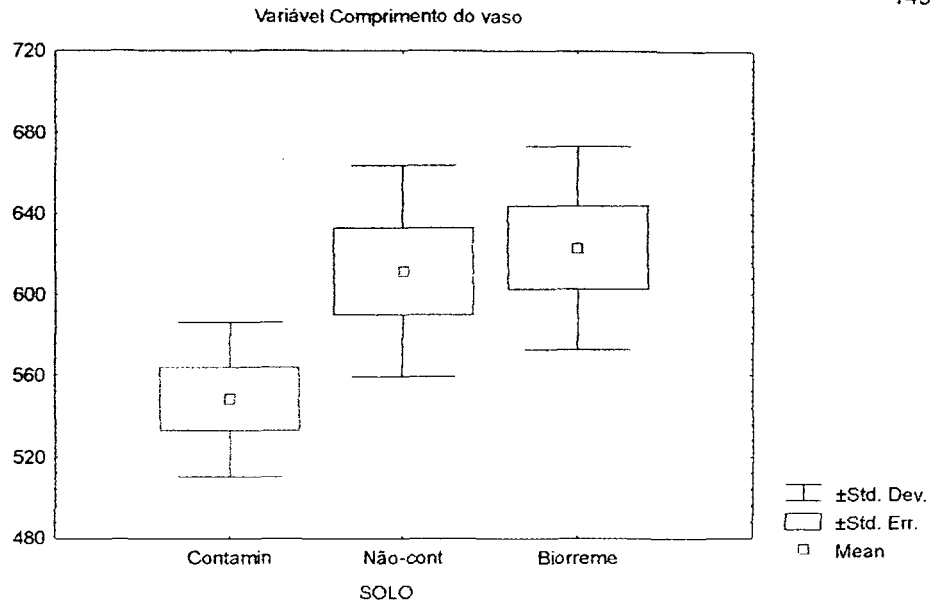
Anexo 18 -
evidenciando a
média, erro e desvio-
padrão das variáveis
analisadas no lenho
jovem de
Campomaesia
xanthocarpa
(estufa)



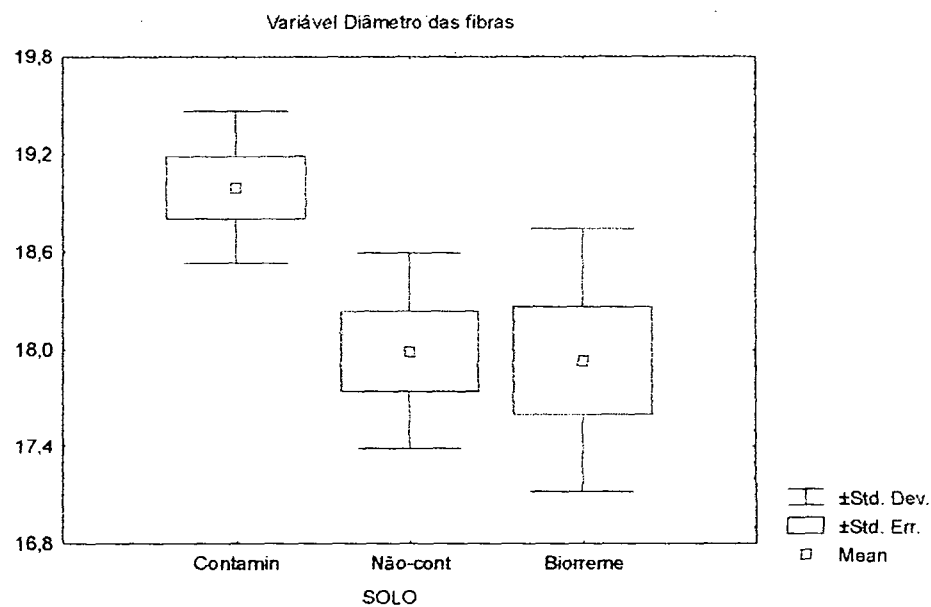
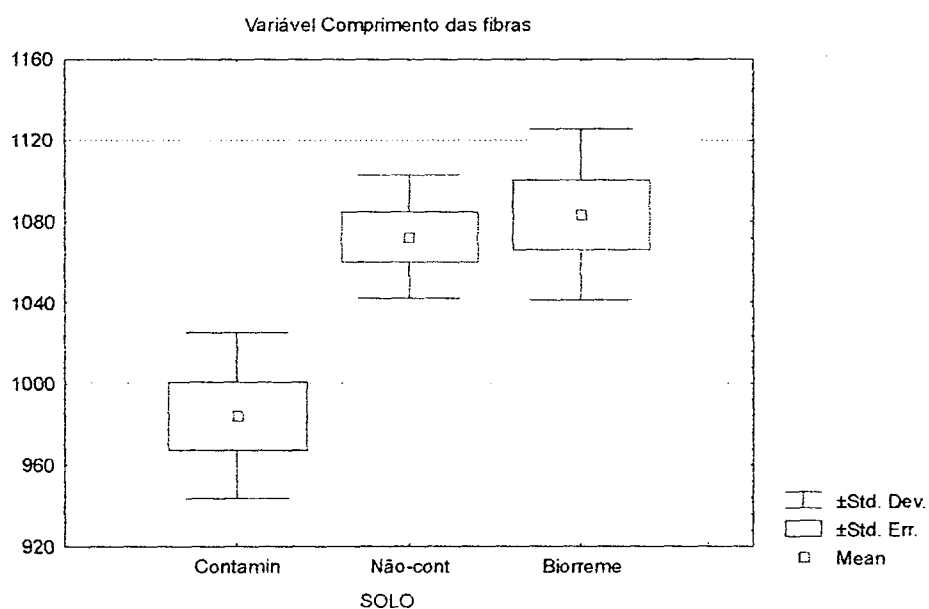
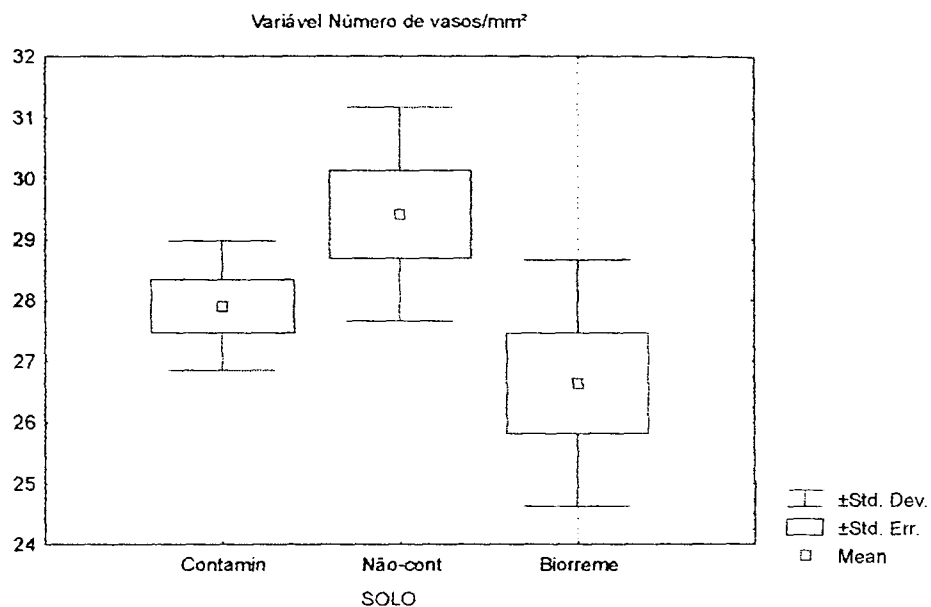
Anexo 18 -
evidenciando a
média, erro e
desvio-padrão
da variável
analisada no
lenho jovem de
*Campomanesia
xanthocarpa*
(estufa)



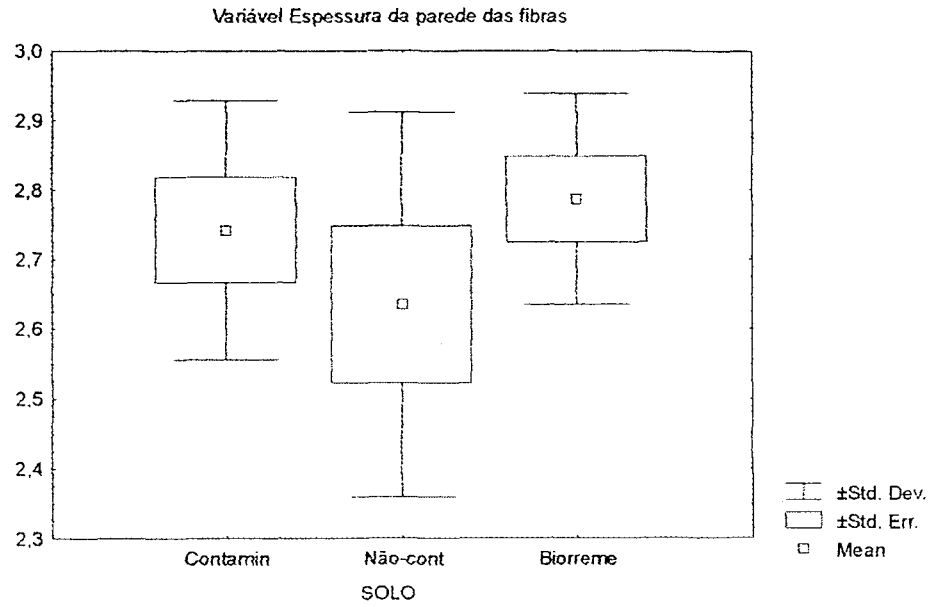
Anexo 19 -
evidenciando a
média, erro e desvio-
padrão das variáveis
analisadas no lenho
jovem de
*Sebastiania
commersoniana*
(campo)



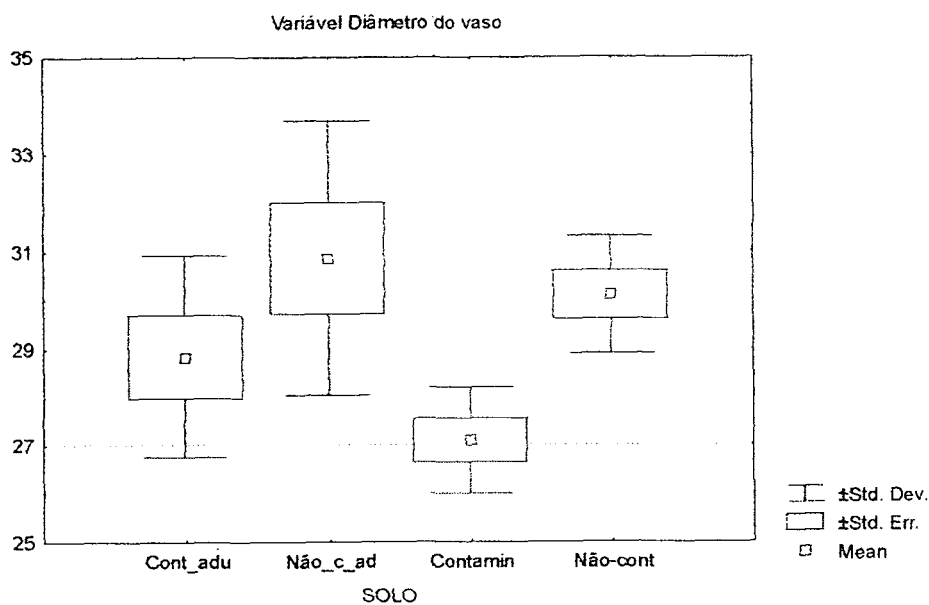
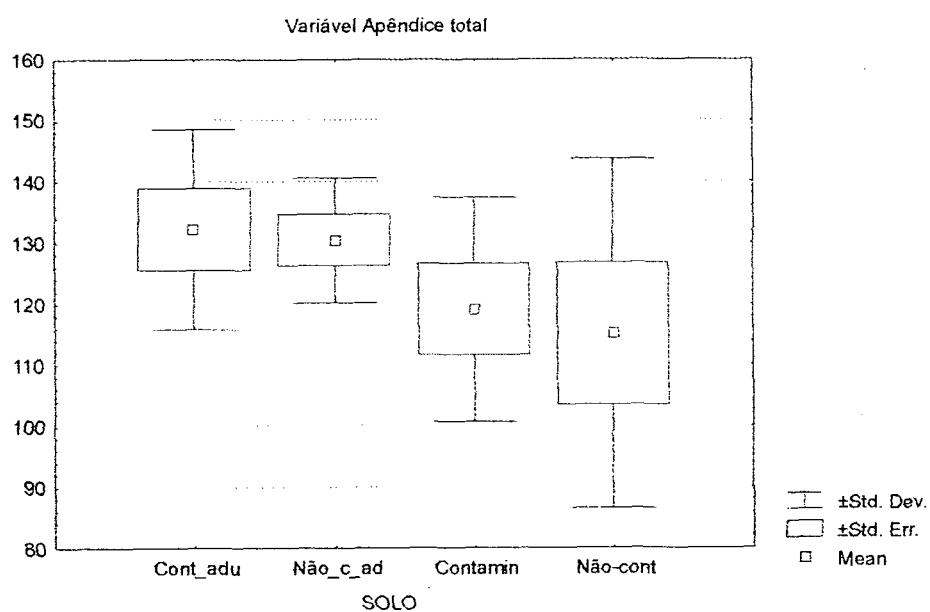
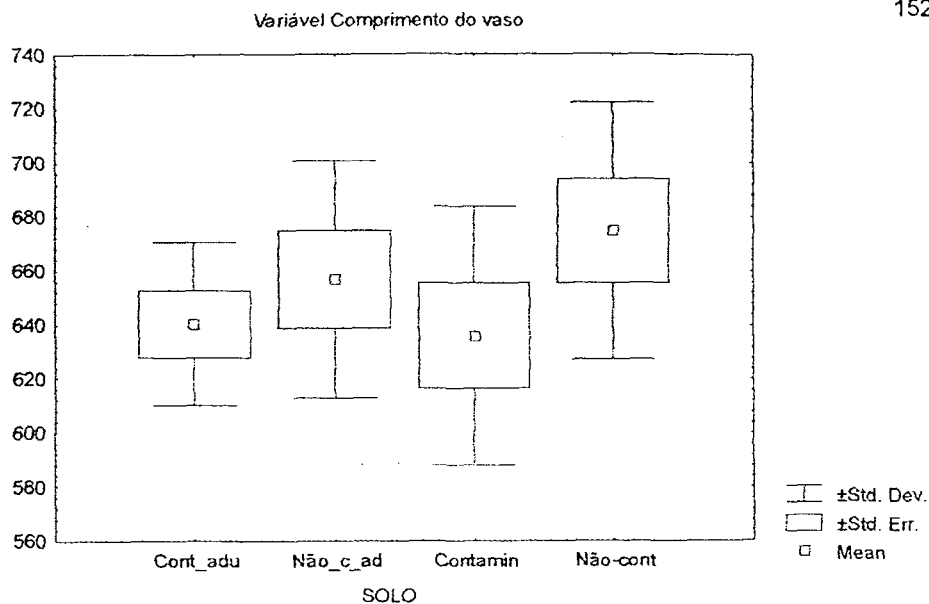
Anexo 19 -
evidenciando a
média, erro e
desvio-padrão das
variáveis analisadas
no lenho jovem de
*Sebastiania
commersoniana*
(campo)



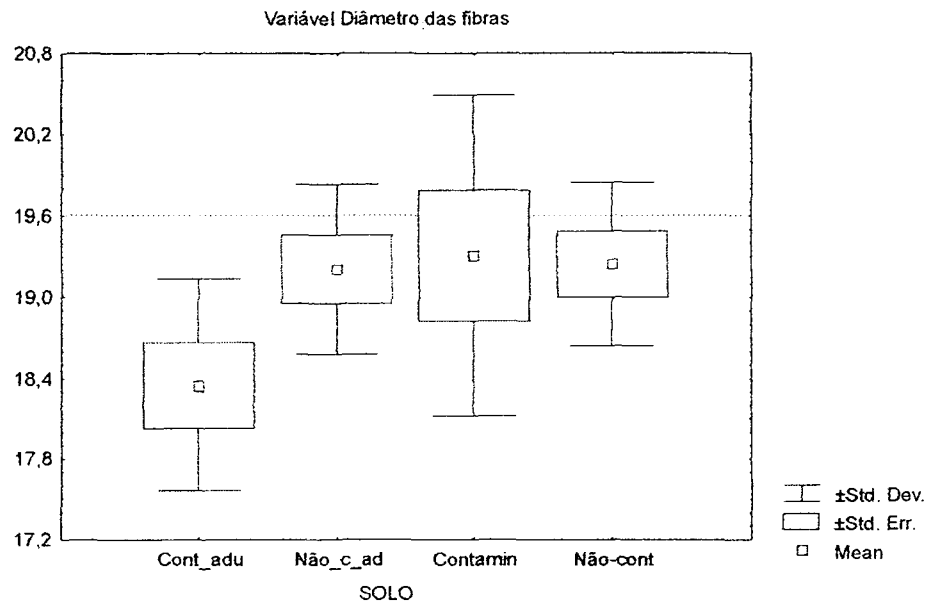
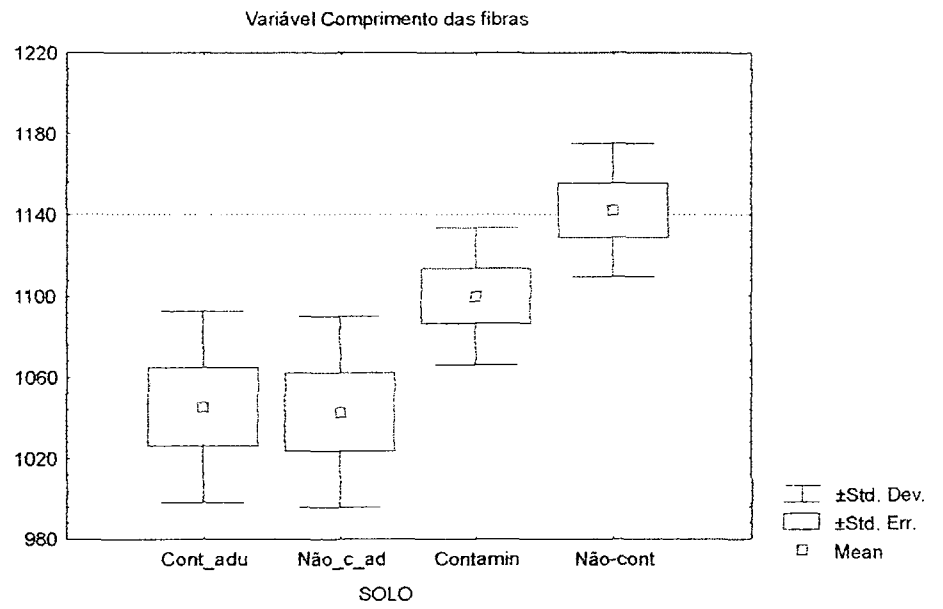
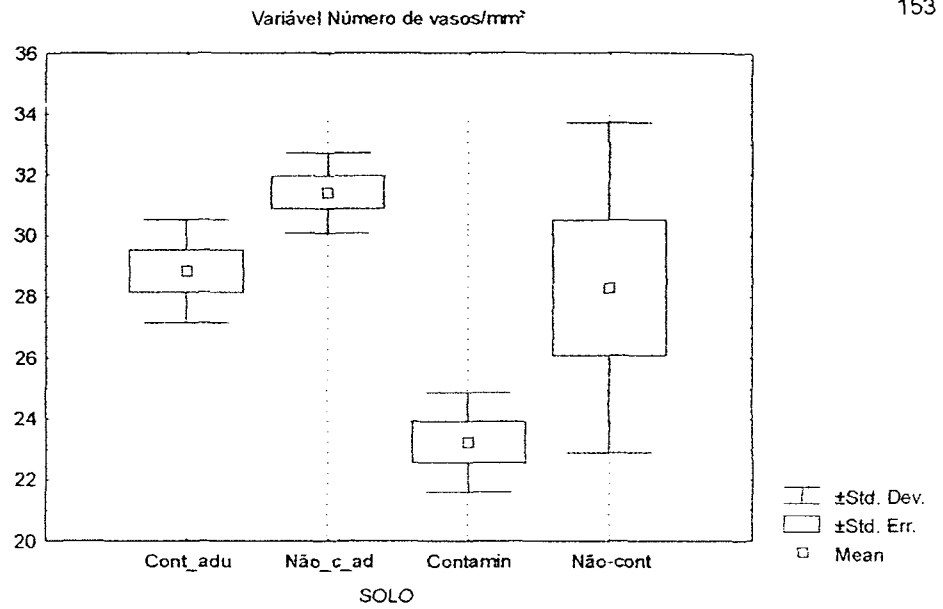
Anexo 19 -
evidenciando a
média, erro e
desvio-padrão da
variável
analisada no lenho
jovem de
*Sebastiania
commersoniana*
(campo)



Anexo 20 -
evidenciando a
média, erro e
desvio-padrão das
variáveis
analisadas no lenho
jovem de
*Sebastiania
commersoniana*
(estufa)



Anexo 20 -
evidenciando a
média, erro e
desvio-padrão das
variáveis
analisadas no lenho
jovem de
*Sebastiania
commersoniana*
(estufa)



Anexo 20 -
evidenciando a
média, erro e desvio-
padrão da variável
analisada no lenho
jovem de
Sebastiania
commersoniana
(estufa)

